



M 2016

SISTEMAS DE PREFABRICAÇÃO DE PAREDES EM ALVENARIA

ESTUDO DE CASO

KÁTIA MOUTINHO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA CIVIL

SISTEMAS DE PREFABRICAÇÃO DE PAREDES EM ALVENARIA: ESTUDO DE CASO

KÁTIA LIBÂNIA PEREIRA MOUTINHO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

JUNHO DE 2016

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À vida

A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Mais uma página da minha vida se vira e será importante referir e agradecer a quem tornou este momento possível.

Em primeiro lugar aos meus pais. Obrigada a Vocês que foram, são e sempre serão os pilares da minha vida, os meus melhores amigos. Muito obrigada por todas as oportunidades que me proporcionaram, por todo o esforço que fizeram e continuam a fazer para me ajudarem em tudo o que preciso!

Em segundo queria agradecer aos meus irmãos, que apesar de muitas chatices me darem, são pessoas indispensáveis na minha vida. À minha avó e à minha madrinha por permanentemente resistirem ao meu eufórico entusiasmo! Obrigada também à minha família pelo carinho que sempre demonstraram.

Em terceiro lugar gostaria de agradecer aos meus amigos, que comigo partilham experiências e momentos maravilhosos.

Não posso deixar de agradecer à instituição de ensino FEUP que me acolheu durante estes anos, nomeadamente a todos os Professores por partilharem o Vosso conhecimento para fazer de nós Alunos a próxima geração de Engenheiros Cívicos. Um especial obrigado ao Professor Doutor Hipólito Sousa, meu orientador, pela imprescindível ajuda nesta última fase do meu percurso académico.

A todos um muito obrigada!

RESUMO

A presente dissertação visa o estudo de sistemas de prefabricação de paredes em alvenaria, nomeadamente a viabilidade de sistemas resistentes e não resistentes prefabricados produzidos com este material de construção.

O desenvolvimento do trabalho faz referência à história da alvenaria e demonstra a importância das soluções construtivas em alvenaria existentes em Portugal através de dados estatísticos, para além de apresentar vantagens que a alvenaria pode conferir a uma obra.

O presente trabalho tem também como objetivo aprofundar o conceito da construção prefabricada em alvenaria e apresentar as vantagens deste sistema em relação à alvenaria tradicional. Por isso, são abordados conceitos de alvenaria e são ainda comparados o processo construtivo tradicional *in situ* com o método de produção de painéis em fábrica e sua montagem em obra.

A alvenaria prefabricada não é uma escolha comum nos projetos de construção em Portugal, seja pela reduzida disponibilidade no mercado, seja por falta de informação, por falta de investimento em investigação e produção, ou mesmo por preconceito em relação a este tipo de construção. Deste modo, a investigação feita tem o propósito de expor exemplos reais e de investigação e aplicar o conceito de alvenaria prefabricada num caso prático para melhor se perceber a qualidade e produtividade que a prefabricação confere à indústria.

PALAVRAS-CHAVE: Alvenaria, Envolvente, Compartimentação, Prefabricação, Industrialização.

ABSTRACT

The present dissertation aims to study prefabricated systems of masonry walls, in particular the feasibility of resistant and non-resistant prefabricated systems made out of this construction material.

This report refers to the history of masonry and demonstrates the importance of masonry solutions in construction in Portugal through statistical data. The benefits to construction with the use of masonry are also explained.

This project also aims to deepen the concept of prefabricated masonry construction and present the advantages of this system compared to traditional masonry. Therefore masonry concepts are discussed and the traditional construction process *in situ* is compared with the prefabrication method and the assembly of the panels on site.

The prefabricated masonry is not a common choice in construction projects in Portugal, either because of reduced availability in the market, or lack of information, lack of investment in research and production or even because of prejudgement regarding this type of construction. Taking these factors into account, the study done has the purpose to present research and real models, as well as the application of the concept in a practical case to better understand the quality and productivity that prefabrication can offer to the industry.

KEYWORDS: Masonry, Surroundings, Partitioning, Prefabrication, Industrialization.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
 2. ALVENARIA E PREFABRICAÇÃO	 3
2.1. NOTA PRÉVIA	3
2.2. ALVENARIA NA CONSTRUÇÃO	3
2.2.1. BREVE REFERÊNCIA HISTÓRICA	3
2.2.2. SITUAÇÃO EM PORTUGAL [3]	6
2.2.3. VANTAGENS DO USO DA ALVENARIA COMO SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	7
2.3. ALVENARIA RESISTENTE E DE PREENCHIMENTO	8
2.3.1. CONCEITOS	8
2.3.2. PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS	14
2.4. PREFABRICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO	19
2.5. ALVENARIA PREFABRICADA	21
 3. SISTEMAS DE MONTAGEM E ASSENTAMENTO DE ALVENARIAS	 27
3.1. NOTA PRÉVIA	27
3.2. TIPOS DE JUNTAS	27
3.3. TIPOS DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	28
3.4. TIPOS DE UNIDADES DE ALVENARIA	32
3.4.1. UNIDADE DE ALVENARIA CERÂMICA	36
3.4.2. UNIDADE DE ALVENARIA BETÃO	36
3.4.3. SOLUÇÕES WEBER [28]	37
3.5. PROCESSO CONSTRUTIVO	39
3.5.1. MÉTODO DE CONSTRUÇÃO TRADICIONAL	39

3.5.2. MÉTODO DE PRODUÇÃO EM FÁBRICA	43
3.5.3. TRANSPORTE E MONTAGEM DOS PAINÉIS	44
3.5.4. SISTEMA REDBLOC [30].....	46
3.5.5. CONSTRUÇÃO TRADICIONAL VS CONSTRUÇÃO PREFABRICADA.....	48

4. PRÉ-FABRICAÇÃO EM PAREDES DE ALVENARIA 51

4.1. NOTA PRÉVIA	51
4.2. COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS PAREDES DE ALVENARIA	51
4.2.1. COMPORTAMENTO MECÂNICO EM GERAL.....	51
4.2.2. COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS PAREDES DE ALVENARIA PREFABRICADAS.....	56
4.3. DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES	56
4.3.1. LIGAÇÃO DAS PAREDES SEGUNDO O EC6 [5].....	56
4.3.2. CRITÉRIOS DE PROJETO DE LIGAÇÕES EM ALVENARIA PREFABRICADA	57
4.3.3. LIGAÇÃO NUMA ESTRUTURA DE ALVENARIA PREFABRICADA	59
4.3.4. EXEMPLO DE LIGAÇÃO.....	59
4.4. PRODUTIVIDADE E QUALIDADE	61
4.4.1. CASA OLÉ [36]	61

5. CASO DE ESTUDO: APLICAÇÃO PRÁTICA 68

5.1. NOTA PRÉVIA	68
5.2. APRESENTAÇÃO DO PROJETO.....	68
5.3. DEFINIÇÃO DOS PAINÉIS	69
5.4. PROCESSO CONSTRUTIVO	72
5.5. ANÁLISE ECONÓMICA	73
5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS 75

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
---------------------------------------	-----------

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
---	-----------

ANEXO A.1	83
------------------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Anta da Aboboreira, Baião.	3
Fig. 2 - Secção Mutianyu feita de pedras e tijolos, Muralha da China.	4
Fig. 3 - Zigurate de Ur (Templo da Lua), Iraque (2113 e 2096 a.C.).	4
Fig. 4 - Partenon de Atenas, Grécia (447-438 a.C.).....	5
Fig. 5 - Abóbada Catalã, Sagrada Família, Espanha.	5
Fig. 6 – Alvenaria estrutural: ações sobre uma parede exterior (peso próprio, sobrecarga e vento) e respetiva linha de pressões. [6].....	8
Fig. 7 - Tipos de parede em função das suas exigências funcionais (ou fins a que se destinam). [7].....	9
Fig. 8 - Tipos de parede em função do tipo de aparelho: (a) parede simples; (b) parede dupla; (c) parede composta; (d) parede de face à vista; (e) parede-cortina. [7].....	10
Fig. 9 - Alvenaria não armada. [7].....	10
Fig. 10 – Alvenaria Armada. [10].....	11
Fig. 11 – Solução típica americana de uma parede com aberturas de alvenaria armada. [12]	12
Fig. 12 – Solução típica suíça de alvenaria armada. [12].....	12
Fig. 13 – Solução típica espanhola de uma parede não resistente de alvenaria armada com treliças. [12].....	13
Fig. 14 – Solução alemã para um sistema de alvenaria armada. [12].....	13
Fig. 15 – Alvenaria confinada: (a) Montantes; (b) Cintas; (c) Com unidades de alvenaria específicas; (d) Com elementos de betão armado de face à vista. [12].....	14
Fig. 16 – Pirâmide de fruição.....	15
Fig. 17 – Repartição dos tempos e tarefas na construção. [19].....	19
Fig. 18 - Painel de alvenaria prefabricado. [21].....	22
Fig. 19 - Métodos de produção de painéis de alvenaria prefabricados: (a) Painéis produzidos em estaleiro; (b) Painéis produzidos em fábrica com recurso a sistema automatizado. [21].....	22
Fig. 20 – Uso da robótica na construção de uma estrutura de alvenaria, Manhattan.	23
Fig. 21 – Uso da robótica na construção de uma parede prefabricada de alvenaria. [22].....	23
Fig. 22 - Painéis de alvenaria prefabricados. [23].....	24
Fig. 23 - Chaminés de alvenaria prefabricadas. [24].....	24
Fig. 24 - Arcos de alvenaria prefabricados. [24].....	25
Fig. 25 - Unidades de alvenaria especiais. [24].....	25
Fig. 26 - Representação das juntas. [25].....	28
Fig. 27 – Elementos de alvenaria com juntas verticais de encaixe.....	28

Fig. 28 - (a) tijolos revestidos a gesso; (b) tijolo cerâmico de furação vertical; (c) betão celular autoclavado.	32
Fig. 29 – Representação dos tipos de solicitação à unidade de alvenaria. [28].....	33
Fig. 30 - Blocos Leca para Paredes Eficientes. [29]	37
Fig. 31 – Momentos de produção do bloco leve de Leca: a) Elevador de transporte de elementos “frescos” ou “verdes” moldados sobre pranchas; b) Unidades de alvenaria na câmara de cura; c) Unidades de alvenaria depois do processo de cura; d) Transporte das unidades de alvenaria para processo de escolha e paletização; e) Colocação das unidades de alvenaria em paletes; f) Embalagem das unidades de alvenaria; g) Unidades de alvenaria prontas para transporte.	38
Fig. 32 - Colocação dos perfis de madeira.	39
Fig. 33 - Aplicação da argamassa: (a) assentamento dos tijolos; (b) preenchimento das juntas; (c) preenchimento das juntas com auxílio de um raspador de ponta dobrada.	40
Fig. 34 - Assentamento de tijolos com recurso a andaime.....	40
Fig. 35 – Argamassa industrial em silo.	41
Fig. 36 – Argamassa feita em obra: (a) mecanicamente; (b) manualmente.	41
Fig. 37 – (a) Colher de pedreiro e talocha; (b) funil aplicador.	41
Fig. 38 – Argafast e máquina doseadora.....	42
Fig. 39 – “Gabarito” para aplicação de argamassa nas juntas horizontais.	42
Fig. 40 - Corte de unidades de alvenaria cerâmica: (a) mecanicamente; (b) manualmente.....	42
Fig. 41 - Utensílios de pedreiro.....	43
Fig. 42 - Prefabricação de uma parede de alvenaria: (a) na vertical; (b) na horizontal. [20]	43
Fig. 43 - Sistema de transporte dos painéis em fábrica.	44
Fig. 44 - Sistemas de elevação dos painéis em obra.	45
Fig. 45 - Gancho previamente incorporado no painel.....	45
Fig. 46 - Sistema de suspensão através de ancoragens. [20].....	45
Fig. 47 – “System for Lifting and Handling Panels” de Paul M. Thomas: (a) perspetiva do sistema de elevação do painel; (b) painel de alvenaria prefabricado na posição vertical através deste sistema. [30].....	46
Fig. 48 - Estrutura exemplo. [31].....	46
Fig. 49 - Processo de produção. [31].....	47
Fig. 50 - Processo de produção - Operação de colagem. [31].....	47
Fig. 51 - Processo de produção - Operação de corte. [31].....	47
Fig. 52 - Montagem dos painéis em obra. [31]	48
Fig. 53 – Fluxograma: construção tradicional vs construção prefabricada.	48
Fig. 54 - Variação da resistência da parede em função da resistência da argamassa. [32]	53
Fig. 55 - Tipos de suporte para paredes sob carga lateral: (a) Parede apoiada horizontalmente; (b) Parede apoiada verticalmente.....	54

Fig. 56 – Ligação entre o painel prefabricado e a estrutura. [20].....	59
Fig. 57 - Modelo de ligação.	60
Fig. 58 - Ensaio do modelo de ligação.	61
Fig. 59 - Processo de produção dos painéis.	63
Fig. 60 - Processo de montagem dos painéis.	64
Fig. 61 - Caso de estudo: Habitação familiar T2. [38].....	68
Fig. 62 – Planta da habitação T2. [38].....	69
Fig. 63 - Alçado principal do projeto.	69
Fig. 64 - Planta estrutural da habitação.	70
Fig. 65 - Planta com os painéis instalados.	70
Fig. 66 – Esquema dos painéis tipo.	71
Fig. 67 – Esquema dos Painéis Tipo 1.....	72
Fig. 68 - Esquema dos Painéis Tipo 2.	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Edifícios existentes em Portugal com diferentes materiais de construção, de acordo com o número de pavimentos; V Recenseamento geral da habitação: CENSOS 2011, INE. [3] ... 7	
Tabela 2 - Lista de exigências humanas segundo Blachère e CIB, 1966. [17]	16
Tabela 3 - Lista de exigências humanas segundo d'Havé, 1976. [17].....	17
Tabela 4 - Principais exigências funcionais das paredes de alvenaria e desempenho esperado. [4].....	18
Tabela 5 - Limites dimensionais de painéis prefabricados. [23]	24
Tabela 6 - Composição em volume (cimento: cal hidratada ou cal hidráulica: areia) de argamassa corrente prescrita para as classes de resistência preconizadas no Anexo Nacional, Quadro NA.II do EC6. [5].....	30
Tabela 7 - Requisitos para as propriedades da argamassa de assentamento endurecida. [27]... 31	
Tabela 8 - Classes de referência da resistência à compressão da argamassa, Quadro NA.I do EC6. [5].....	32
Tabela 9 - Classes de referência da resistência das unidades para alvenaria, Quadro NA.III EC6. [5].....	33
Tabela 10 - Requisitos geométricos para o agrupamento de unidades para alvenaria, Quadro 3.1 do EC6. [5].....	35
Tabela 11 - Exigências e características aplicáveis a unidades de alvenaria cerâmicas. [2].....	36
Tabela 12 - Fator de eficiência para diferentes tipos de unidades [32]	53
Tabela 13 – Valores de f_{xk1} para um plano de rotura paralelo às juntas de assentamento. [5]	55
Tabela 14 – Valores de f_{xk2} para um plano de rotura perpendicular às juntas de assentamento. [5]	55
Tabela 15 - Comparação de custos do sistema tradicional e do sistema prefabricado. [37].....	65
Tabela 16 - Comparação do índice de produtividade do sistema tradicional e do sistema prefabricado. [37].....	66
Tabela 17 - Quadro resumo: Lista de painéis.	71
Tabela 18 - Comparação de custos do sistema tradicional e do sistema prefabricado.....	73

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Edifícios existentes em Portugal com diferentes materiais de construção, por época de construção; V Recenseamento geral da habitação: CENSOS 2011, INE. [3]	6
Gráfico 2 – Curva da aprendizagem.....	21
Gráfico 3 - Dados estatísticos do défice habitacional entre 2001 e 2006 para as diferentes classes económicas.	62
Gráfico 4 - Cronograma de tarefas.....	64

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

Alfabeto Latino

f_b – resistência à compressão normalizada das unidades para alvenaria, em N/mm^2

f_k – resistência característica à compressão da alvenaria, em N/mm^2

f_m – resistência à compressão da argamassa de assentamento, em N/mm^2

f_p – resistência à compressão do prisma de alvenaria

f_u – resistência à compressão da unidade de alvenaria

f_{vk} – resistência característica ao corte da alvenaria, em N/mm^2

f_{vk0} – resistência característica inicial ao corte, sob compressão nula, em N/mm^2

f_{xk1} – resistência característica à flexão da alvenaria cujo plano de rotura é paralelo às juntas de assentamento, em N/mm^2

f_{xk2} – resistência característica à flexão da alvenaria cujo plano de rotura é perpendicular às juntas de assentamento, em N/mm^2

F_d – valor de cálculo da resistência à compressão ou à tração de um ligador de parede

h – horas

K – constante utilizada no cálculo da resistência à compressão da alvenaria

m – metros

mm – milímetros

N - Newton

Q – quantidade de trabalho

T – tempo necessário à realização da tarefa

W_{ed} – valor de cálculo da carga lateral por unidade de área

Alfabeto grego

α – ângulo formado pelos varões da armadura de esforço transversal com o eixo da viga

β – coeficiente de majoração das cargas concentradas

η – fator de eficiência

σ_d – valor de cálculo da tensão de compressão

Acrónimos e Abreviaturas

a.C. – antes de Cristo

DEC - Departamento de Engenharia Civil

EC6 – Eurocódigo 6

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Fig. - Figura

INE – Instituto Nacional de Estatísticas

JOUE – Jornal Oficial da União Europeia

NA – National Annex

Tab. - Tabela

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

As antigas construções portuguesas demonstram o uso da pedra em elementos resistentes e soluções adaptadas aos fatores da região. Além da pedra, o tijolo cerâmico, pela sua simplicidade de fabrico e uso, foi um tipo de elemento muitas vezes escolhido na construção, pois oferecia boa resistência e durabilidade para as exigências da época.

No entanto, a rápida evolução das exigências funcionais dos edifícios e da indústria levou à preferência por diferentes materiais. Com o aparecimento do betão armado e das estruturas de aço, o uso de alvenaria resistente tornou-se menos popular, devido à crescente construção em altura e à necessidade de elementos estruturais mais esbeltos para um maior aproveitamento do espaço. A falta de conhecimento sobre novos processos e soluções usando alvenaria levou a que esta passasse a ser usada ou em estruturas resistentes de pequeno porte, ou como solução para paredes de compartimentação ou da envolvente.

Porém, a atual crise económica e a necessidade de reabilitação trouxe de novo o interesse pelas alvenarias resistentes. Isto porque é uma solução que apresenta vantagens a níveis funcional e económico, tendo sido frequente a sua utilização no passado da construção portuguesa. Sendo uma solução construtiva que exige mão-de-obra intensiva, as desvantagens recaem na baixa produtividade, na pouca qualidade associada a improvisos e erros, e nos atrasos da obra devido ao encadeamento de tarefas.

Assim, é necessário apostar na inovação de forma a responder a exigências funcionais como o conforto térmico, higrotérmico e acústico e requisitos económicos, de qualidade, de produtividade, de eficiência, de sustentabilidade e de segurança, tornando o mercado mais competitivo.

A modernização do setor da construção via a racionalização dos processos construtivos e o desenvolvimento de inovações tecnológicas foca na melhoria da qualidade dos materiais, das soluções e consequentemente do produto final.

Desta forma, a prefabricação surge como uma resposta às particularidades inerentes ao processo construtivo das alvenarias. Ao passar os trabalhos de estaleiro para a fábrica é possível aumentar o controlo da qualidade, diminuindo as deficiências na construção, aumentar a rapidez de execução das tarefas, diminuindo o tempo de construção, independentemente das condições atmosféricas.

Contudo, o descrédito na industrialização e na qualidade do produto final é um dos entraves a este tipo de construção. Por isso, antes da sua utilização, é necessário realizar estudos prévios sobre o desempenho e a viabilidade dos novos materiais e processos construtivos de forma a serem evitados

problemas patológicos precoces e irreversíveis na construção. Para além disso, o controle rigoroso durante o processo de fabrico e de montagem é uma medida importante para garantir a correta execução do produto.

É por isso que a prefabricação, mais concretamente a alvenaria prefabricada, requer um planeamento e pormenorização mais exigentes e uma mão-de-obra profissional e especializada. Assim, o preconceito em relação à construção industrializada pode ser mudado.

1.2. OBJETIVOS

Tendo em vista o aprofundamento do conhecimento na área da alvenaria prefabricada, considerando que a sua aplicação é viável e vantajosa na construção, foram traçados os seguintes objetivos para o presente trabalho:

- Estudar o passado e presente da alvenaria e da prefabricação;
- Avaliar a viabilidade da prefabricação em termos de qualidade e produtividade;
- Comparar a alvenaria tradicional construída em estaleiro e a alvenaria prefabricada;
- Analisar o comportamento mecânico da alvenaria;

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está dividida em 5 capítulos.

No primeiro capítulo é feita uma introdução para enquadramento do assunto estudado bem como os objetivos a alcançar com o desenvolvimento do presente trabalho.

No capítulo 2 é feita uma breve abordagem histórica da alvenaria no mundo e da prefabricação. Para além disso é realizada uma análise às vantagens e desvantagens do uso de sistemas prefabricados.

O capítulo 3 aborda conceitos relacionados com a alvenaria e são apresentados sistemas de montagem e assentamento tradicionais e prefabricados.

No quarto capítulo é estudado o comportamento de paredes de alvenaria prefabricadas e ligações com outros elementos de estrutura. É também feita uma abordagem mais detalhada à produtividade e qualidade de sistemas de alvenaria prefabricadas.

No capítulo 5 é feita uma aplicação prática de paredes de alvenaria resistentes prefabricadas a uma habitação de tipologia T2.

O último capítulo encerra o estudo do presente trabalho, para além de serem feitas considerações futuras sobre a construção prefabricada de alvenaria.

2

ALVENARIA E PREFABRICAÇÃO

2.1. NOTA PRÉVIA

Neste primeiro capítulo serão abordados os temas sobre o uso de alvenaria e da prefabricação na construção, dando uma perspectiva do passado e do presente em Portugal e no mundo. Serão apresentados alguns conceitos e soluções construtivas existentes relacionados com alvenaria resistente e não resistente. Serão também descritas exigências normativas e humanas que um edifício com elementos de alvenaria deve apresentar. Para além disso, serão estudadas vantagens que a prefabricação pode trazer para a construção bem como os seus inconvenientes e, por fim, será feita a ponte de ligação entre os dois primeiros conceitos referidos, ou seja, alvenaria prefabricada.

2.2. ALVENARIA NA CONSTRUÇÃO

2.2.1. BREVE REFERÊNCIA HISTÓRICA

“The unwritten record of history is preserved in buildings – in temples, fortresses, sanctuaries, and cities constructed of brick and stone”. [1]

Abrigo, alimentos e roupa são bens de primeira necessidade do Homem. Confrontados com a necessidade de proteção e segurança contra animais e condições meteorológicas, o Homem foi obrigado a tirar proveito do que a natureza lhe proporcionava, como árvores e caves, para construir abrigos. Apesar de serem apenas simples formas de abrigo construídas por instinto natural, indicam o princípio da história da arquitetura. E como referiu o Professor Hipólito Sousa “Se a história da civilização é a história da arquitetura, esta é a história das alvenarias”. [2]



Fig. 1 - Anta da Aboboreira, Baião.

Com origem na pré-história, a alvenaria é um sistema de construção baseado no assentamento de blocos que resistem a esforços de compressão. Os primeiros elementos de alvenaria utilizados eram de pedra ou tijolo cerâmicos cozidos inicialmente ao sol e posteriormente no forno.

Sendo a pedra um dos materiais mais antigos e abundante, na história do Homem, a sua utilização como estrutura resistente é evidente em obras das épocas primordiais desde os primeiros abrigos do período neolítico às pirâmides egípcias, templos gregos e à muralha da China – fig. 2. Esta evolução de estruturas simples às mais complexas deve-se também ao desenvolvimento de ferramentas que permitiram lapidar, aparar, alisar e esculpir a pedra.



Fig. 2 - Secção Mutianyu feita de pedras e tijolos, Muralha da China.

O tijolo é o material de construção conhecido feito pelo Homem mais antigo. A cidade de Jericó de 8000 a.C., situada nas margens do rio Jordão, é apontada como o local mais antigo conhecido a usar tijolos feitos de barro e cozidos ao sol até ao seu endurecimento. Estudos arqueológicos ainda referem Çayönü e Çatalhöyük, na Turquia onde também se verificou a utilização deste tipo de material 7500 a.C.. Por serem leves, de fácil moldagem e empilhamento o uso deste tipo de alvenaria prolongou-se durante séculos. Típicas estruturas de alvenaria remontam a 3000 a.C. à arquitetura mesopotâmica, onde os materiais utilizados na construção do centro dos zigurates eram de tijolos cozidos e o exterior de tijolos cozidos ao sol – fig.3.



Fig. 3 - Zigueate de Ur (Templo da Lua), Iraque (2113 e 2096 a.C.).

A era da Grécia clássica é também determinante na história da construção em alvenaria uma vez que em obras de grande magnitude, sobretudo de caráter público, foram utilizados tijolos de barro e blocos de mármore – fig.4. As técnicas utilizadas indicavam que já naquela altura era recorrente o uso de simetrias, cálculos e proporções matemáticas, resultando em obras de engenharia com um elevado grau de perfeição.



Fig. 4 - Partenon de Atenas, Grécia (447-438 a.C.).

A arquitetura da Roma antiga seguiu as diretrizes da construção grega, nomeadamente a ordem coríntia, dórica e jónica. No entanto, os romanos foram grandes inovadores e rapidamente se distinguiram ao utilizar novos materiais, adotarem novas soluções construtivas e combinarem a engenharia com a estética nas suas estruturas. São eles os responsáveis pelo uso de arcos e abóbadas em grande escala, um dos grandes desenvolvimentos para vencer vãos que até então se pensava impossível e que deram origem a edifícios de dimensões monumentais.

Pela sua simplicidade de produção, uso e pela resistência oferecida, a alvenaria em tijolo continuou a ser a solução preferencialmente escolhida até ao início da época renascentista. Desde então o desenvolvimento de soluções estruturais em alvenaria não foi significativa. Com a revolução industrial, optou-se preferencialmente pelo uso de estruturas de betão, aço e ferro e já no século XX a construção em altura tornou-se popular. Como as soluções de alvenaria resistente não ofereciam as vantagens dos outros materiais de construção para este tipo de edifício, a alvenaria passou a ser usada como elemento não resistente do edifício. No entanto, uma importante referência deste século é António Gaudí, que nas suas obras optou pelo uso de alvenaria. Um dos exemplos é a Sagrada Família que usa a tradicional abóbada catalã, uma técnica de construção da Catalunha, que consiste em sobrepor duas ou três camadas de tijolos que estão ligadas entre si com argamassa de presa rápida para criar uma estrutura altamente resistente – fig.5.



Fig. 5 - Abóbada Catalã, Sagrada Família, Espanha.

Entretanto os progressos nos estudos e investigações sobre o comportamento estrutural da combinação do betão com aço levaram à introdução de regulamentos na Alemanha, França e Reino Unido para estruturas de betão armado. O interesse europeu pela alvenaria resistente só ressurgiu por volta de 1940. Desde então, progressos foram feitos no aumento da resistência das unidades de alvenaria e da argamassa e depois de vários testes realizados a paredes foi possível desenvolver métodos matemáticos que respeitavam princípios de engenharia já utilizados em outros sistemas. Para além disso, verificou-se que a alvenaria é um material com bom comportamento térmico e acústico e apresenta um bom desempenho sob ações de incêndio.

2.2.2. SITUAÇÃO EM PORTUGAL [3]

Atualmente em Portugal o material mais utilizado para a estrutura do edifício é o betão armado, como indicam os estudos do Instituto Nacional de Estatística – gráfico 1 – empregando-se a alvenaria maioritariamente na parte não resistente da obra. Porém, das 3 544 389 construções avaliadas nos CENSOS 2011, a alvenaria (com e sem placa) resistente faz parte de 1 604 889 das estruturas, o que corresponde a 45,3% das obras, uma diferença de apenas 3,3% relativamente às estruturas de betão armado – tabela 1. Note-se que a razão para que tal acontece é o facto de que no passado da construção portuguesa o material de construção predominante ser a alvenaria.

Deste modo, é necessário estudar e desenvolver soluções inovadoras, principalmente para sistemas resistentes de alvenaria, que voltem a captar o interesse dos projetistas, pois este é um material que pode trazer muitas vantagens especialmente económicas, como se estudará mais adiante.

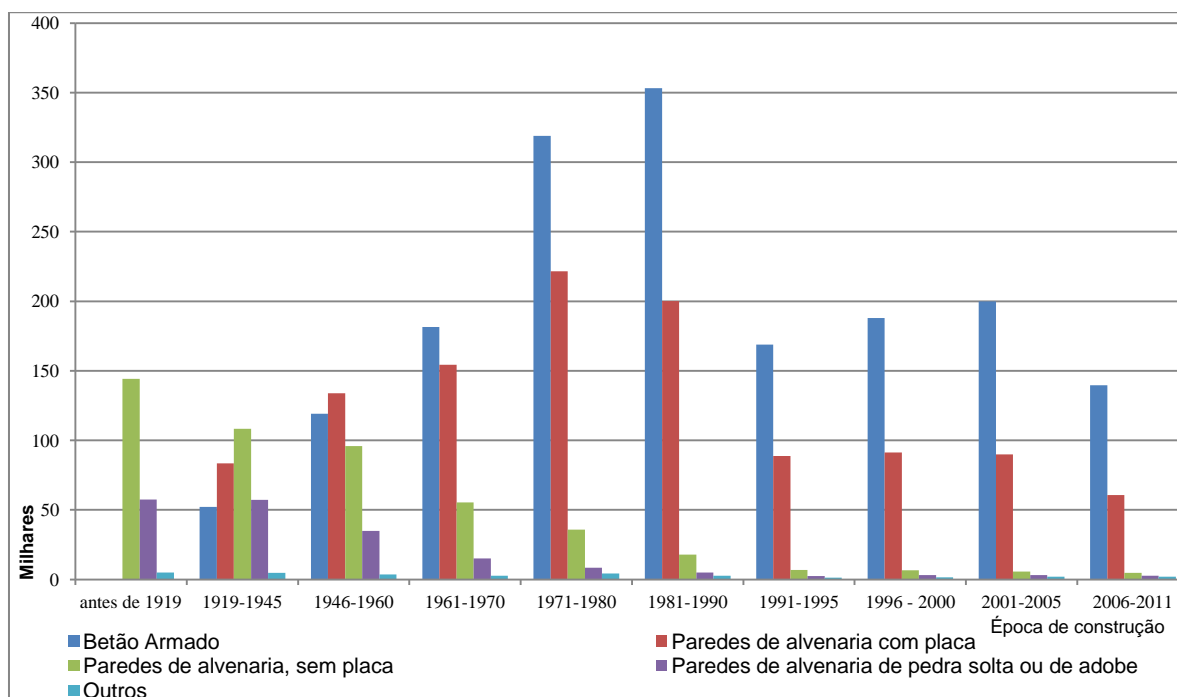


Gráfico 1 - Edifícios existentes em Portugal com diferentes materiais de construção, por época de construção; V Recenseamento geral da habitação: CENSOS 2011, INE. [3]

Tabela 1 - Edifícios existentes em Portugal com diferentes materiais de construção, de acordo com o número de pavimentos; V Recenseamento geral da habitação: CENSOS 2011, INE. [3]

Principais materiais utilizados na construção	Edifícios segundo o número de pisos							
	Total	1 piso	2 pisos	3 pisos	4 pisos	5 pisos	6 pisos	7 ou mais pisos
Tipo de estrutura da construção	3 544 389	1 395 703	1 611 913	336 787	95 973	46 283	22 750	34 980
Betão armado	1 721 109	533 452	807 770	216 696	72 782	37 195	19 771	33 443
Paredes de alvenaria com placa	1 123 774	455 928	551 440	90 509	15 805	5 913	2 879	1 300
Paredes de alvenaria, sem placa	481 115	265 209	182 812	23 086	7 003	3 005	0	0
Paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe	189 072	123 902	60 388	4 782	0	0	0	0
Outros (madeira, metálica,...)	29 319	17 212	9 503	1 714	383	170	100	237

2.2.3. VANTAGENS DO USO DA ALVENARIA COMO SOLUÇÃO CONSTRUTIVA

A alvenaria é uma solução construtiva que quando usada e aplicada corretamente, tem diversas vantagens.

Uma parede de alvenaria apresenta normalmente um bom isolamento térmico e acústico, estanquidade à água, resistência ao fogo e resistência mecânica, que se traduz num bom desempenho funcional. [4]

A flexibilidade e versatilidade dos elementos de alvenaria são outras características vantajosas deste tipo de construção, para além do seu baixo custo de produção.

As unidades de alvenaria são normalmente fabricadas em dimensões modulares, permitindo erguer paredes com instalações já previstas.

A durabilidade do tijolo cerâmico é considerada infinita e a da argamassa de assentamento pode superar 100 anos de vida útil, em condições normais. [4]

É um tipo de construção que usa elementos “amigos do ambiente”, pois têm associado um baixo custo energético de produção, para além de, se for necessário, poderem ser reutilizados.

É uma solução construtiva económica, considerando os investimentos iniciais e de manutenção. Logo garante uma boa relação custo/benefício. [4]

No entanto os problemas que a alvenaria enfrenta é a baixa produtividade na realização de paredes e a necessidade de mão-de-obra especializada e em grandes quantidades.

2.3. ALVENARIA RESISTENTE E DE PREENCHIMENTO

2.3.1. CONCEITOS

Todas as paredes de um edifício devem ser consideradas parte do sistema estrutural, mesmo que o seu papel resistente seja apenas de auto-estabilidade. Por isso é feita uma distinção entre paredes resistentes e não resistentes ou de preenchimento.

2.3.1.1. Alvenaria resistente

Como definido no EC6 [5], uma parede resistente é aquela que foi “calculada principalmente para suportar uma dada carga para além do seu peso próprio”. Isto é, para fins estruturais a alvenaria resistente destina-se a suportar ações permanentes ou variáveis que atuam no edifício. Desta forma, uma parede resistente de alvenaria é empregue para resistir a ações verticais, como o seu peso próprio e cargas de outros elementos de construção (lajes, pavimentos superiores e coberturas) e ações horizontais, como vento e sismos. Para aumentar a sua resistência, este tipo de parede pode incluir elementos de reforço, como armadura e ligadores. Assume assim um papel fundamental na estabilidade da estrutura.

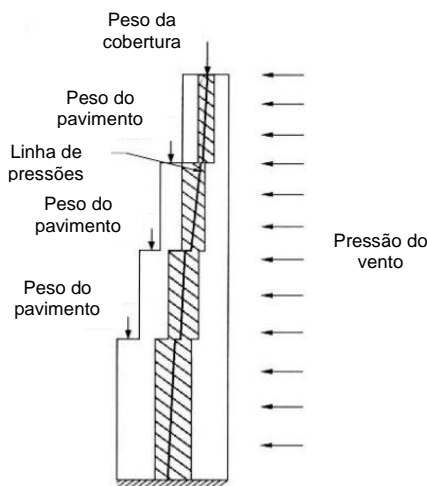


Fig. 6 – Alvenaria estrutural: ações sobre uma parede exterior (peso próprio, sobrecarga e vento) e respetiva linha de pressões. [6]

Sendo a parede resistente de alvenaria “um componente estrutural contínuo vertical, retilíneo ou curvilíneo, constituído pela solidarização, por meio de um ligante (argamassa), de um conjunto de elementos resistentes (unidades de alvenaria) e que podem integrar elementos de reforço de outra natureza (varões metálicos, ligadores ou outros)”, a sua função e classificação podem ser variadas. [7].

A alvenaria resistente é assim classificada em função das suas exigências funcionais, dos requisitos estruturais, da sua posição na malha estrutural ou do tipo de aparelho. [7]

- **Tipos de alvenaria resistente em função das suas exigências funcionais**

- Parede mestra – parede principal;
- Parede de contraventamento – parede secundária;
- Parede de contenção – muro de suporte
- Parede em consola – muro;
- Parapeito.

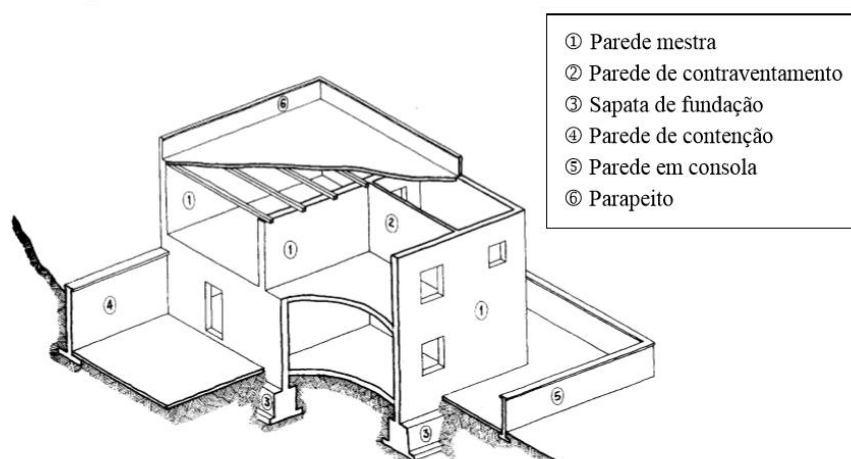


Fig. 7 - Tipos de parede em função das suas exigências funcionais (ou fins a que se destinam). [7]

- **Tipos de alvenaria resistente em função dos requisitos estruturais**

- Parede resistente – resiste essencialmente a ações verticais;
- Parede de contraventamento – resiste a ações horizontais no seu próprio plano.

- **Tipos de alvenaria resistente em função da sua posição na malha estrutural**

- Parede exterior;
- Parede interior;
- Parede longitudinal;
- Parede transversal;
- Parede celular ou bidirecional.

- **Tipos de alvenaria resistente em função do tipo de aparelho [5,7]**

- Parede simples – sem espaço vazio ou junta vertical contínua no seu plano;
- Parede dupla – constituída por dois panos simples paralelos com um espaço vazio ou preenchido parcial ou totalmente por isolamento térmico não resistente. Os dois panos são ligados por ligadores ou armaduras prefabricadas de junta;
- Parede composta – constituída por dois panos paralelos ligados, em que a junta horizontal intermédia é totalmente preenchida com argamassa. Os dois panos são ligados por ligadores que garantem o funcionamento conjunto sob o efeito de cargas;
- Parede de face à vista – associa elementos destinados a ficar aparentes com outros de apoio não aparentes, garantindo o funcionamento conjunto sob o efeito de cargas;
- Parede com juntas por faixas (*shell bedded wall*) – as unidades de alvenaria assentam sobre duas ou mais faixas de argamassa, duas das quais dispostas ao longo dos bordos exteriores das faces de assentamento;
- Parede-cortina – utilizada como paramento e que não contribui para a resistência da parede de apoio ou da estrutura.

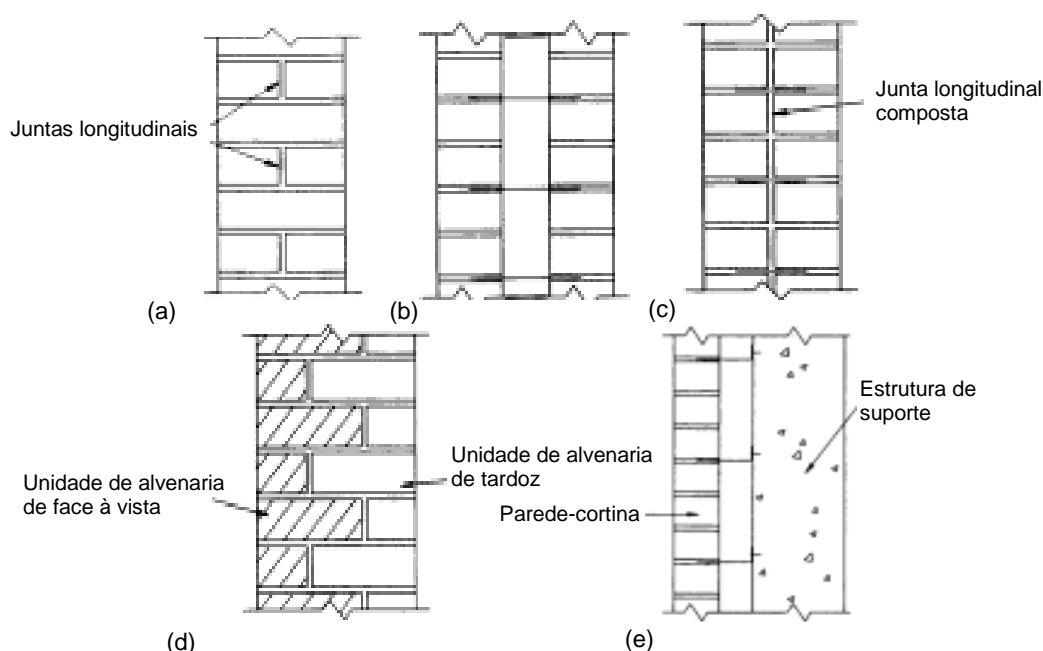


Fig. 8 - Tipos de parede em função do tipo de aparelho: (a) parede simples; (b) parede dupla; (c) parede composta; (d) parede de face à vista; (e) parede-cortina. [7]

É também importante classificar a função estrutural das paredes, distinguindo-se assim quatro tipos de paredes: paredes de alvenaria não-armada; paredes de alvenaria armada; paredes de alvenaria confinada e paredes de contenção. [8]

a) Paredes não armadas

São paredes simples, sem armadura, que podem ser dimensionadas para resistir a ações horizontais no seu plano. Os Eurocódigos determinam as características e exigências mínimas que a alvenaria simples deve apresentar. É comum este tipo de paredes ser constituída por elementos de alvenaria com maior espessura para a envolvente do edifício de forma a cumprir requisitos térmicos. Os reforços metálicos normalmente são colocados na parte superior da parede (cintas), para garantir a ligação da parede com a laje, nas juntas horizontais, para evitar fissuras localizadas e na amarração entre painéis. É possível encontrar diversas construções em alvenaria estrutural simples em alguns países europeus, tais como Alemanha, Noruega, Países Baixos e Itália. Lourenço refere que cerca de 15 a 50% das soluções estruturais de novos edifícios de habitação na Europa são em alvenaria simples. [7]

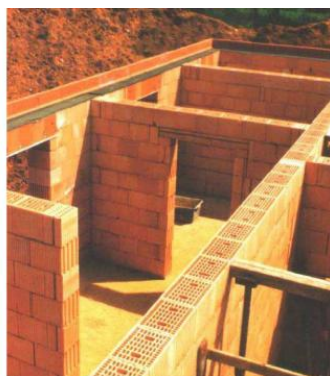


Fig. 9 - Alvenaria não armada. [7]

b) Paredes de alvenaria armada

Com função resistente, a alvenaria armada dá resposta ao deficiente comportamento face a esforços horizontais de flexão no plano e fora. Melhora também o comportamento a ações verticais. A melhoria é conseguida pela incorporação de armaduras, ordinárias ou galvanizadas, e betão. As armaduras podem ser colocadas, com uma distribuição uniforme, verticalmente e/ou horizontalmente e cuja resistência é considerada nos cálculos estruturais. No primeiro caso, a armadura é colocada nos blocos por furação vertical que depois são preenchidos com argamassa ou microbetão ou em alinhamentos verticais de células também preenchidos por argamassa. No segundo caso, as armaduras são colocadas na argamassa de assentamento entre fiadas - fig.10. [8]

Em termos de comportamento mecânico, a alvenaria armada apresenta vantagens comparativamente a outras soluções quando solicitada por ações horizontais. Isto porque tem um ótimo comportamento estrutural no que se refere a distribuição de tensões, dissipação de energia e valores últimos da resistência ao corte. [9]

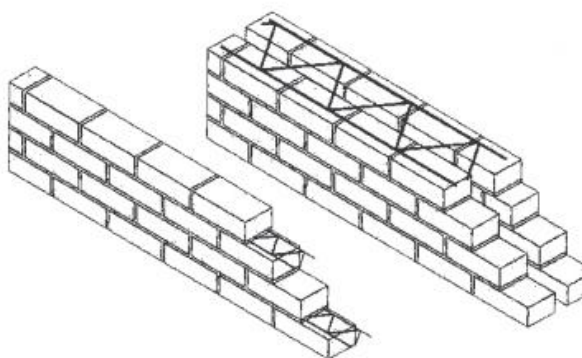


Fig. 10 – Alvenaria Armada. [10]

Segundo fontes bibliográficas [11], o primeiro uso de alvenaria armada verificou-se em 1825 no Túnel Thames em Inglaterra, por Marc Isambard. Ainda nesse século o interesse por este tipo de solução foi notório. No entanto, não existia conhecimento pormenorizado sobre o funcionamento conjunto da alvenaria com o aço e os construtores faziam uso destes materiais baseados na sua experiência. A pesquisa desenvolvida e publicada pelo Departamento de Trabalhos Públicos do Governo da Índia em 1923 apresentava resultados a vários testes feitos a elementos estruturais de alvenaria armada e oferecia resposta a vários problemas sobre este tipo de construção, marcando assim o início do desenvolvimento da alvenaria armada.

Deste modo, do ponto de vista custo-benefício, a alvenaria armada passou a ser uma solução vantajosa em zonas sísmicas e não-sísmicas da América do Norte em edifícios com diferentes funções, como por exemplo edifícios residenciais e comerciais, hotéis, escolas ou armazéns. [12]

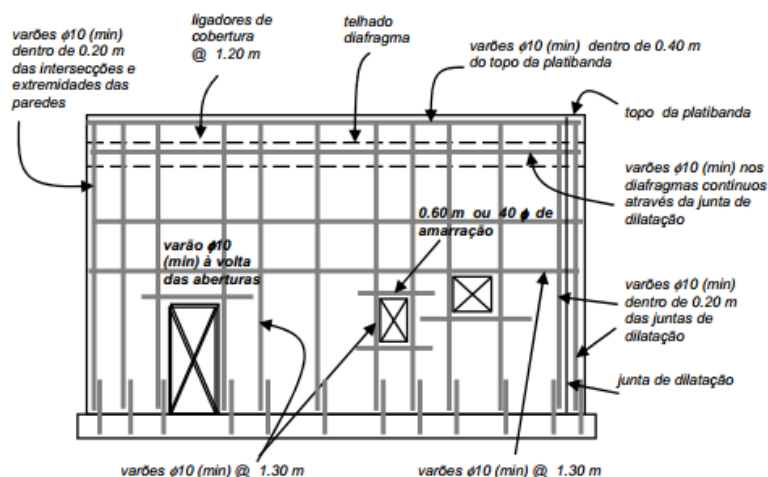


Fig. 11 – Solução típica americana de uma parede com aberturas de alvenaria armada. [12]

Na Suíça foi desenvolvido um sistema construtivo com elementos de alvenaria com dois furos de maior dimensão de modo a ser possível colocar um sistema complexo de armadura, que desempenha as funções de armadura vertical e horizontal, e que está protegido contra a corrosão. A argamassa usada para o preenchimento do furo é a mesma para as juntas de assentamento. A solução é frequentemente usada em edifícios de médio porte de todo o tipo de funções.



Fig. 12 – Solução típica suíça de alvenaria armada. [12]

Na mesma altura, em Espanha a armadura escolhida para reforçar o sistema de alvenaria foi a treliça colocada horizontal e verticalmente e protegida contra a corrosão. Esta solução construtiva foi também aplicada em Portugal, apresentando resultados satisfatórios na sua aplicação em termos de comportamento. Para além disso apresentava a vantagem de possibilitar o uso de elementos de alvenaria existentes no mercado. [12]

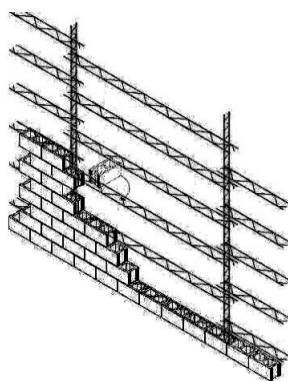


Fig. 13 – Solução típica espanhola de uma parede não resistente de alvenaria armada com treliças. [12]

Já na Alemanha, em alternativa à solução construtiva usada na América do Norte, foi desenvolvido um sistema que utiliza blocos cerâmicos com apenas duas células preenchidas por betão auto-compactável sendo as armaduras verticais colocadas nas juntas e as armaduras horizontais em entalhes. Assim é possível betonar as paredes em simultâneo com as lajes e é possível que o bloco de alvenaria, o betão de enchimento e a armadura funcionem em conjunto.

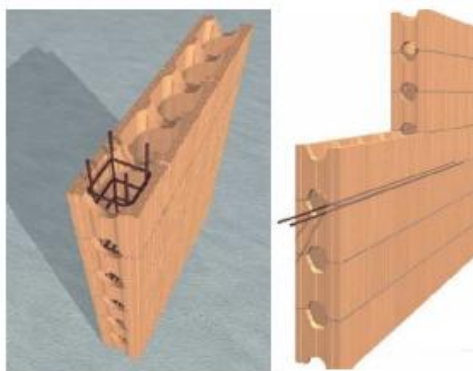


Fig. 14 – Solução alemã para um sistema de alvenaria armada. [12]

c) Paredes de alvenaria confinada

São paredes limitadas horizontal e verticalmente com elementos armados de confinamento, pilares e vigas ou cintas e montantes, não sendo a sua resistência considerada nos cálculos estruturais. Estes elementos são executados em simultâneo com a alvenaria, com recurso a cofragem ou embutidos no interior desta. Os Eurocódigos definem requisitos mínimos para as armaduras e para os elementos de confinamento, assim como recomendações de execução.

Estudos feitos mostram que, comparativamente à alvenaria simples, o uso deste tipo de parede melhora a resistência a ações horizontais, ou seja aumenta a resistência ao corte e à tração. Para além disso, o confinamento da parede apresenta vantagens em relação à capacidade de deformação, pois existe um aumento da ductilidade bem como maior capacidade de dissipação de energia. [13] Os elementos de confinamento podem também melhorar a ligação entre as paredes estruturais, conferir maior estabilidade à parede confinada, e reduzir o risco de desintegração dos painéis de alvenaria quando danificados por ações sísmicas. [14]

De acordo com Lourenço [8], a combinação deste tipo de parede com a incorporação de armaduras específicas nas juntas horizontais e/ou verticais de assentamento é exequível.

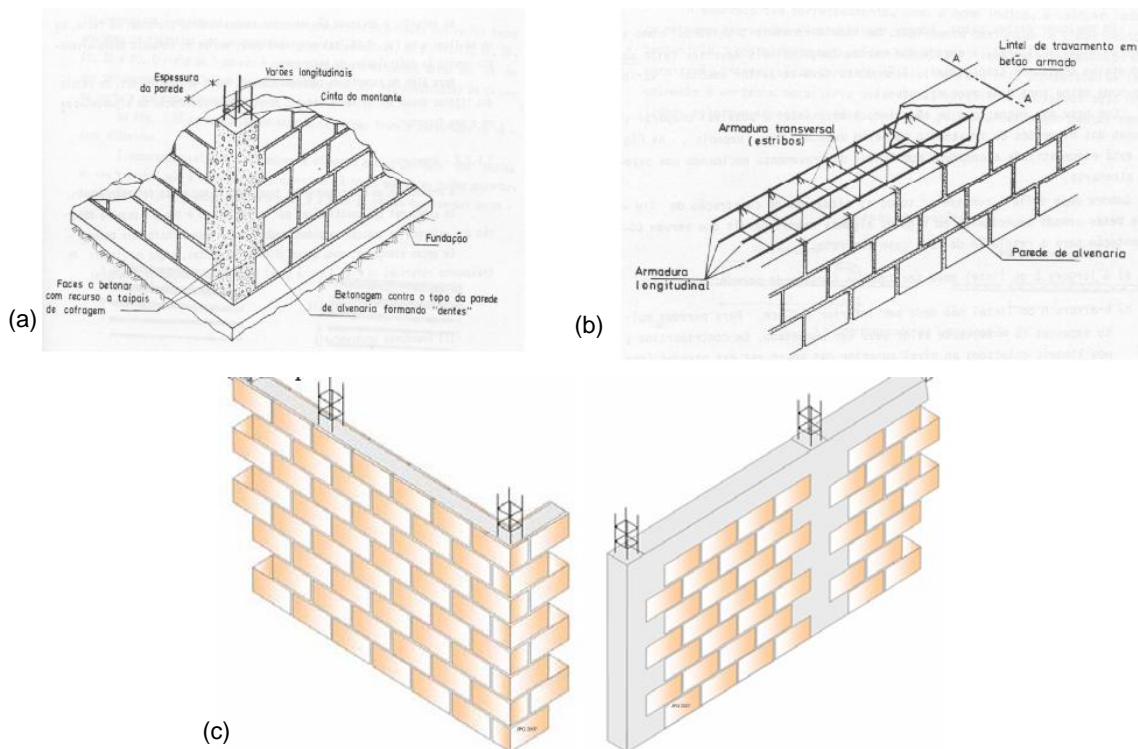


Fig. 15 – Alvenaria confinada: (a) Montantes; (b) Cintas; (c) Com unidades de alvenaria específicas; (d) Com elementos de betão armado de face à vista. [12]

d) Paredes de contenção

São aquelas que devem suportar forças verticais de peso de lajes e paredes de pisos superiores e conferir resistência à flexão – fig.7.

2.3.1.2. Alvenaria de preenchimento

A alvenaria de preenchimento é a “parede não considerada na resistência de esforços, de tal forma que pode ser suprimida sem prejudicar a integridade do resto da estrutura” [5]. As paredes de alvenaria simples não resistentes são normalmente usadas como divisão de espaços interiores em estruturas de betão armado, em estruturas metálicas e em estruturas de alvenaria. Neste último caso, é importante salientar que as paredes de preenchimento devem respeitar limites geométricos de esbelteza que garantam também o desempenho de funções resistentes inerentes à sua auto-estabilidade. Note-se ainda que apesar de não contribuir para a resistência global da estrutura, este tipo de parede continua a estar sujeita a cargas acidentais como movimentações térmicas, assentamento das fundações ou deformações de outros elementos da estrutura.

2.3.2. PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS

Segundo o Anexo I do Regulamento EU n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho de 9 de Março de 2011 publicado no Jornal Oficial da União Europeia, [15]

“As obras de construção devem, no seu todo e nas partes separadas de que se compõem, estar aptas para o uso a que se destinam, tendo em conta, nomeadamente, a saúde e a segurança das pessoas nelas envolvidas durante todo o ciclo de vida da obra. As obras de construção devem satisfazer, em condições normais de manutenção, os requisitos básicos das obras de construção durante um período de vida útil economicamente razoável.”

Assim, para que o edifício não sofra danos na fase de construção e de utilização, têm que ser concebido de forma a cumprir os seguintes requisitos básicos de:

- resistência mecânica e estabilidade;
- segurança contra incêndio;
- higiene, saúde e ambiente;
- estanquidade à água;
- segurança e acessibilidade na utilização;
- proteção contra o ruído;
- economia de energia e isolamento térmico;
- utilização sustentável de recursos.

No entanto, o utilizador também têm necessidades que devem ser identificadas e consideradas no projeto como exigências humanas. O artigo publicado pelo Professor Rui Rodrigues e pelo Professor Jorge Renda refere a teoria de Maslow sobre a hierarquia das necessidades humanas para o estudo da satisfação do utente na utilização do edifício. [16] Em 1954, no seu livro *“Motivation and Personality”*, Abraham Maslow propôs uma pirâmide hierárquica das necessidades humanas em que a pessoa começa por satisfazer as suas necessidades básicas, situadas na base da pirâmide, para depois procurar satisfazer as necessidades de nível superior. A adaptação desta teoria ao contexto da construção feita no artigo é de seguida apresentada.



Fig. 16 – Pirâmide de fruição.

Tabela 2 - Lista de exigências humanas segundo Blachère e CIB, 1966. [17]

Exigências de Segurança	Estabilidade
	Face a riscos de incêndio
	Relativa aos equipamentos
	Na circulação no edifício e seus acessos
	Química
	Outras
Exigências Acústicas	Ruído de Ambiente e de Ocorrência Fortuita
	Ruído de impacto
	Ruído dos equipamentos
	Ruídos de tráfego
	Ambiência e privacidade acústica
Exigências Olfativas e Respiratórias	
Exigências Táteis	
Exigências Visuais	Nível de iluminação e qualidade da luz
	Possibilidade de obscurecimento
	Qualidade do que se vê
Exigências Higrométricas	Conforto de Inverno
	Conforto de Verão
Exigências Relativas a Acelerações e Vibrações das Construções e Suas Deformações	
Exigências Diversas	Campo magnético
	Campo elétrico
	Instalação
	Limitação de radiações ionizantes
Exigências de Higiene	Alimentar
	Corporal
	Eliminação das águas e matérias residuais
	Limpeza e desinfecção
Exigências de Privacidade	Do exterior
	Do interior
Exigências da Adaptação ao Modo de Vida	
Exigências no Caso de Acontecimentos Previstos	
Exigências de Economia	

Tabela 3 - Lista de exigências humanas segundo d'Havé, 1976. [17]

Exigências Fisiológicas	Exigências de segurança	Exig ^{as} de estabilidade
		Exig ^{as} de segurança ao fogo
		Exig ^{as} de segurança contra agressões
	Exigências sensoriais	Exig ^{as} auditivas
		Exig ^{as} olfativas
		Exig ^{as} táteis
		Exig ^{as} visuais
		Exig ^{as} gustativas
	Exigências relativas às trocas do corpo humano com o ambiente	Exig ^{as} higrométricas
		Exig ^{as} respiratórias
		Exig ^{as} relativas à alimentação e à eliminação de matérias usadas
	Exigências relativas ao movimentos e manipulações	Exig ^{as} relativas aos movimentos impostos ao corpo humano
		Exig ^{as} relativas à circulação
		Exig ^{as} relativas à manobra do equipamento
Exigências Psicológicas	Sensação de proteção	
	Sensação de intimidade	
	Sensação de apropriação dos espaços	
Exigências Sociológicas	Exigências de proteção contra intrusões, roubos e agressões	
	Exig ^{as} de aspeto	Exig ^{as} relativas a cada atividade
		Exig ^{as} relativas às relações entre atividades
		Exig ^{as} relativas de adaptabilidade
	Exig ^{as} de personalização	Afirmação da personalidade do grupo
		Afirmação da personalidade de cada individuo
Exigências Económicas	Limitação das despesas de investimento	
	Limitação das despesas de funcionamento	Limitação do consumo de energia
		Limitação dos encargos de manutenção
	Durabilidade	

A bibliografia existente referente a estes requisitos, como por exemplo Blachère de 1966 e D'Havé de 1976, propõe uma lista de exigências humanas no âmbito da habitação – Tabela 2 e Tabela 3. [17]

Posto isto, as exigências funcionais dos edifícios podem ser divididas em três grupos: exigências de segurança, de habitabilidade e de economia. O primeiro grupo visa a proteção da vida do utilizador através da segurança estrutural, segurança face ao fogo e segurança de ocupação. O segundo grupo refere-se a condições de saúde e níveis de comodidade e conforto que devem ser asseguradas, nomeadamente equilíbrio higrotérmico, estanquidade à água, ar e poeiras, conforto térmico, conforto acústico e conforto visual. É notória a semelhança aos requisitos básicos que o Regulamento impõe. O terceiro grupo de exigências é aquele que condiciona os dois primeiros, uma vez que se refere à durabilidade do edifício e à limitação do custo global da obra, que é entendido como custo inicial acrescido do custo de manutenção e reparação.

Para cada tipo de parede são atribuídas funções que estas devem desempenhar no edifício e exigências funcionais que deverão ser satisfeitas. No caso da parede da envolvente exterior, esta tem que resistir às ações externas dos agentes atmosféricos, ao fogo (e à sua propagação), para além de ter que garantir a estanquidade à água, ao ar e poeiras e assegurar um conforto térmico e acústico adequados. A parede da envolvente interior (isto é, a que separa um espaço interior aquecido de um espaço interior não aquecido) deve resistir ao fogo e à sua propagação e deve assegurar também o conforto térmico e acústico adequados. Uma parede interior divisória deve assegurar o suporte das infra-estruturas, como canalizações e mobiliário, tais como armários e termoacumuladores. Por fim, uma parede interior de meação, que divide duas habitações distintas, deve garantir um ótimo isolamento acústico e deve ter elevada resistência ao fogo, de forma a dificultar a sua propagação.

No que se refere às paredes de alvenaria, são aplicadas as exigências funcionais referidas e sendo possível assim associar o desempenho, de forma qualitativa, esperado. Apresenta-se de seguida tal associação na tabela 4:

Tabela 4 - Principais exigências funcionais das paredes de alvenaria e desempenho esperado. [4]

Exigências Funcionais	Desempenho Esperado
Estabilidade	Bom a excelente
Segurança ao fogo	Excelente
Estanquidade à água (quando revestida)	Bom
Conforto térmico	Regular a bom
Conforto acústico	Regular a bom (isolamento a sons aéreos)
Durabilidade	Bom a excelente
Manutenção	Baixos custos
Higiene	Deficiente (sem revestimentos)
Estética	Regular a excelente

Verifica-se então que existe uma relação direta entre as exigências dos utilizadores e o desempenho do edifício. O desempenho final da obra pode ser medido a partir do desempenho dos constituintes através de simulações, sendo esta opção mais vantajosa, pois os ensaios podem ser realizados mesmo quando a obra já está acabada.

Deste modo, “the code should spell out what is to be achieved and leave the designer how this will be achieved”.[1] Isto é, o engenheiro é responsável por encontrar a solução, ou as soluções, mais adequadas às preferências e requisitos do dono de obra e que permita à estrutura desempenhar as funções para as quais foi projetada.

2.4. PREFABRICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

A construção é uma área que tem sofrido com a crise económica portuguesa verificada nos últimos anos, sendo evidente o declínio do setor. Para sobreviver no mercado, as empresas precisam de responder a novas exigências de forma inovadora e criativa, desenvolvendo novos métodos de trabalho e utilizando materiais e soluções construtivas avançadas que acompanhem a evolução tecnológica. Novos objetivos devem ser definidos, dando enfoque a questões ambientais, económicas e exigências relacionadas com a qualidade do produto e com a rapidez e segurança de execução.

A industrialização é uma opção para a diminuição de custos, para a melhoria da produtividade e para o aumento da qualidade do produto final, tornando a empresa mais competitiva e aumentando a oferta do mercado. Associada a este conceito, a prefabricação surge como uma solução apta para responder a estes desafios. “A prefabricação é, portanto, o caminho para a industrialização do setor da construção civil.” [18]

Apareceu na Europa, após a Segunda Guerra Mundial para responder a procura de habitação verificada nos países mais afetados pela destruição. A prefabricação nada mais é que um método construtivo alternativo ao tradicional, em que todas ou parte das componentes da obra são antecipadamente produzidas em fábrica, aumentando desta forma o trabalho de planeamento e reduzindo as tarefas em estaleiro – fig.17. Chama-se de prefabricação total à realização em fábrica de todos os elementos estruturais e sistemas construtivos, ou seja de todo o edifício, reduzindo ao máximo o tempo em obra. A prefabricação parcial pressupõe a produção dos materiais de construção e a sua montagem em fábrica, formando apenas um subsistema do resto do edifício.

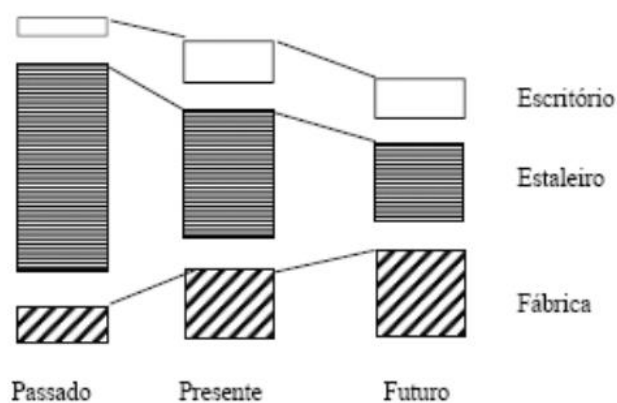


Fig. 17 – Repartição dos tempos e tarefas na construção. [19]

Catarina refere a separação entre os conceitos de sistemas de prefabricação abertos e fechados e entre a prefabricação leve e pesada, que serão de seguida brevemente descritos. [20]

Fala-se de sistema de prefabricação aberto quando os vários materiais de construção e componentes são produzidos em diferentes fábricas, permitindo um campo de possíveis soluções construtivas e processos de construção mais amplo e diversificado. Em contrapartida, um sistema de prefabricação

fechado pressupõe a responsabilização de uma só entidade na definição dos processos de produção (materiais e processos construtivos), comercialização e aplicação em obra de todos os componentes, não havendo espaço para a diversificação de soluções nem da participação de outros fabricantes.

Por prefabricação leve entende-se a escolha de materiais de pequeno peso, como aço, alumínio, vidro, madeira e seus derivados, para as diferentes soluções construtivas de modo a que em obra apenas seja necessário montar e minimizar a utilização de ligações por argamassa. A prefabricação pesada está relacionada com a produção de elementos prefabricados de betão armado e pré-esforçados, tais como lajes, pilares e vigas.

Das combinações possíveis de sistemas de prefabricação, o sistema parcial leve fechado é o que tem mais interesse prático para a construção, pois uma só entidade fica responsável pela produção completa do sistema e sua qualidade final, especificando todos os materiais de construção usados, soluções das ligações, processos de montagem e suas limitações. A vantagem do sistema leve passa pela redução da mão-de-obra necessária para a montagem dos componentes, sendo o esforço físico menor quando comparado com soluções tradicionais.

No entanto, a verdade é que existem preconceitos relacionados com a falta de qualidade dos sistemas prefabricados devido ao menor custo. Contudo é preciso ter em conta o rápido desenvolvimento tecnológico que se têm sentido em diversas áreas, principalmente na área da engenharia mecânica e robótica que podem proporcionar métodos de fabrico mais perfeitos. Para além disso, o avanço dos últimos anos na informática promove a globalização, ou seja, facilita a troca de informação com entidades de pesquisa e investigação espalhadas por todo o mundo, fomentando a partilha de novas soluções e produtos de construção, assim como métodos de construção. Deste modo é preciso pôr de parte esta ideia de que a prefabricação não oferece produtos de qualidade.

As vantagens da prefabricação no setor da construção são as seguintes:

- Redução do número de tarefas realizadas em estaleiro;
- Diminuição do número de trabalhadores em obra;
- Redução da probabilidade de acidentes em obra;
- Redução da área necessária para o estaleiro;
- Diminuição da produção de resíduos em obra;
- Menor dependência das condições atmosféricas;
- Redução do tempo de execução das tarefas a realizar;
- Redução do prazo global da obra;
- Redução das despesas energéticas;
- Aumento da qualidade final dos produtos;
- Reaproveitamento das cofragens em fábrica;
- Aumento da segurança estrutural (possibilidade de realizar de ensaios não destrutivos);
- Boa alternativa à escassez de mão-de-obra;
- Efeito de aprendizagem [18]

O efeito da aprendizagem está relacionado com o aumento da produtividade, pois a repetição sucessiva de tarefas traduz-se na diminuição do tempo necessário a realizá-las, na redução de erros e no aperfeiçoamento do trabalho. É assim um aspeto com relevância na prefabricação, pois é economicamente vantajoso para o fabricante e aumenta a sua capacidade de competitividade no mercado. Logo o desempenho do operário aumenta ao longo do tempo, de forma mais lenta no início, tal como se mostra o gráfico 2. O tema da produtividade será novamente abordado no próximo capítulo.

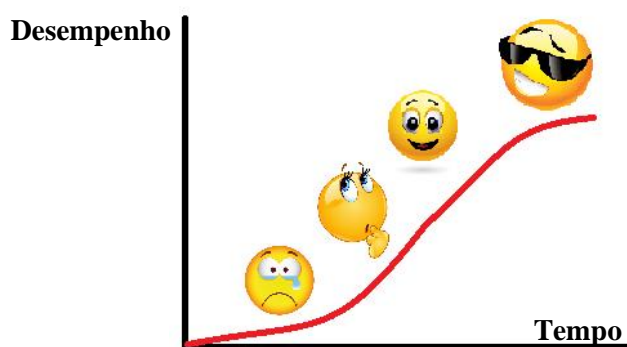


Gráfico 2 – Curva da aprendizagem.

Comparando com o método tradicional de produção *in situ*, os principais entraves da prefabricação são:

- Necessidade de elementos de ligação adicionais;
- Maior controlo e rigor nas ligações;
- Maior controlo de fabricação;
- Fase de projeto mais exaustiva e pormenorizada;
- Dificuldades em modificar o projeto após iniciada a produção;
- Necessidade de mão-de-obra especializada;
- Investimento inicial.

2.5. ALVENARIA PREFABRICADA

Como já referido a prefabricação é um sistema moderno inovador que resulta no aumento da produtividade e competitividade do setor, na eficiência dos processos de produção, no aumento de segurança em obra, no incremento de qualidade do produto final, para além de ser uma alternativa energética e ambientalmente correta. Do mesmo modo a alvenaria prefabricada apresenta-se como uma solução com utilidade e viabilidade superior em comparação com a alvenaria tradicional, acrescentando vantagens relacionadas com o aumento do controlo dimensional, diminuição de imprevistos e a correta execução dos pontos singulares. [19]

Apesar de parecer uma novidade, a verdade é que a alvenaria de tijolo prefabricada foi desenvolvida nos anos 1950 em França, Suíça e Dinamarca, e já nos 1960 foi uma solução adotada nos Estados Unidos. Em comparação com outros materiais de construção, a entrada da alvenaria no mundo da prefabricação foi tardia. No entanto, rapidamente se perceberam as vantagens principalmente económicas que a alvenaria prefabricada pode trazer á obra. [1]

A prefabricação pode ser aplicada a diversos elementos de alvenaria. Desde sistemas de paredes resistentes e paredes de enchimento a elementos secundários como arcos não resistentes, chaminés, lareiras.

As paredes de alvenaria prefabricadas são painéis previamente “montados” em fábrica ou até mesmo num local de produção em estaleiro, de modo a tornar a construção mais rápida, eficiente e com maior nível de qualidade. Os painéis podem ser construídos na horizontal ou na vertical, manualmente ou com recurso a sistemas automatizados. Uma solução passa pela construção em fábrica do painel sobre uma viga de fundação de betão armado, que é depois transportado para o local da obra e colocado com

o auxílio de uma grua – fig.18. Outro método é construir o painel sobre uma área de trabalho horizontal, incorporando ganchos de elevação para a sua montagem. Neste caso a argamassa é responsável por manter as unidades de alvenaria ligadas entre si quando o painel é suspenso pelos ganchos. [21]

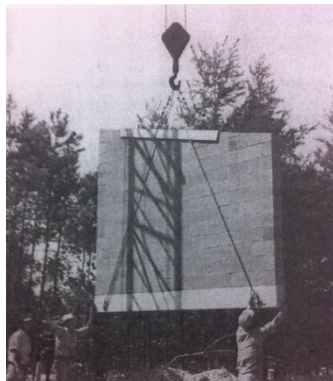


Fig. 18 - Painel de alvenaria prefabricado. [21]

Se a construção é feita na vertical é justificável a utilização de andaimes elétricos que elevam o trabalhador até uma posição mais confortável, aumentando assim a produtividade. Quando a produção é feita manualmente é possível controlar rigorosamente a proporção dos volumes dos materiais constituintes da argamassa bem como a sua correta mistura. Se os painéis são construídos em fábrica também é possível o uso de máquinas que podem assentar uma unidade de alvenaria a cada cinco segundos. O sistema automatizado coloca a argamassa nas juntas, usando a vibração de modo a que os espaços fiquem completamente preenchidos pelo material. [21]

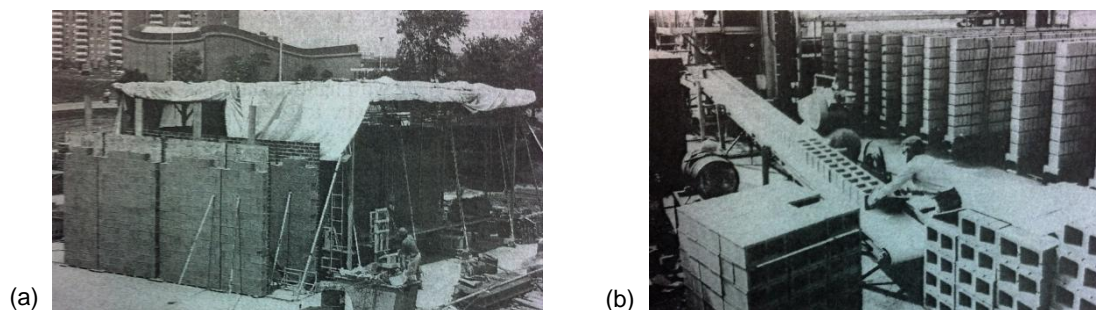


Fig. 19 - Métodos de produção de painéis de alvenaria prefabricados: (a) Painéis produzidos em estaleiro; (b) Painéis produzidos em fábrica com recurso a sistema automatizado. [21]

Assim, é neste contexto que a utilização da robótica surge como uma ideia apelativa para a construção prefabricada, pois o processo de construção torna-se mais rápido, com menos erros construtivos e sem necessidade de um elevado número de operários. É então oportuno citar o sistema de fachadas Flexbrick resultado de um estudo realizado entre 2008-2010 no centro de pesquisa Gramazio & Kohler, Zurique [22]. Os arquitetos Fabio Gramazio e Matthias Kohler começaram por combinar a robótica com ferramentas de *design* digitais para criar elementos de construção de diversos tipos de materiais (madeira, betão e tijolos) com novas formas e padrões. Assim, combinaram a produtividade da prefabricação com eficiência e a flexibilidade da robótica para reproduzir das mais simples estruturas de alvenaria às mais complexas. O uso desta técnica de fabrico ainda só pode ser verificada em estruturas de arquitetura em várias cidades do mundo, como Zurique, Londres, Barcelona e Nova

Iorque – fig.20. A fig. 21 mostra a construção de um sistema de fachada de alvenaria *Flexbrick* e a sua colocação. Como se verifica o esforço físico envolvido em todo o processo é mínimo pois as máquinas constroem, transportam e montam a parede no local.

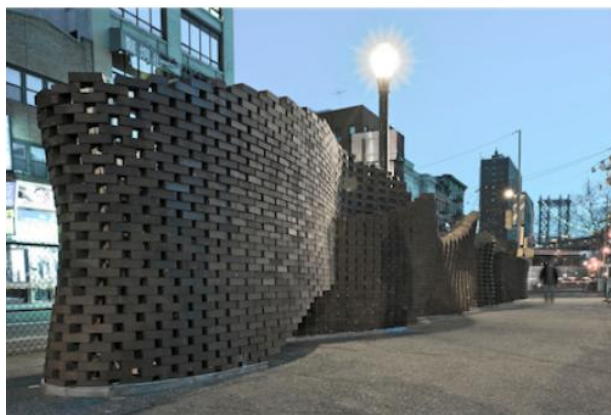


Fig. 20 – Uso da robótica na construção de uma estrutura de alvenaria, Manhattan.

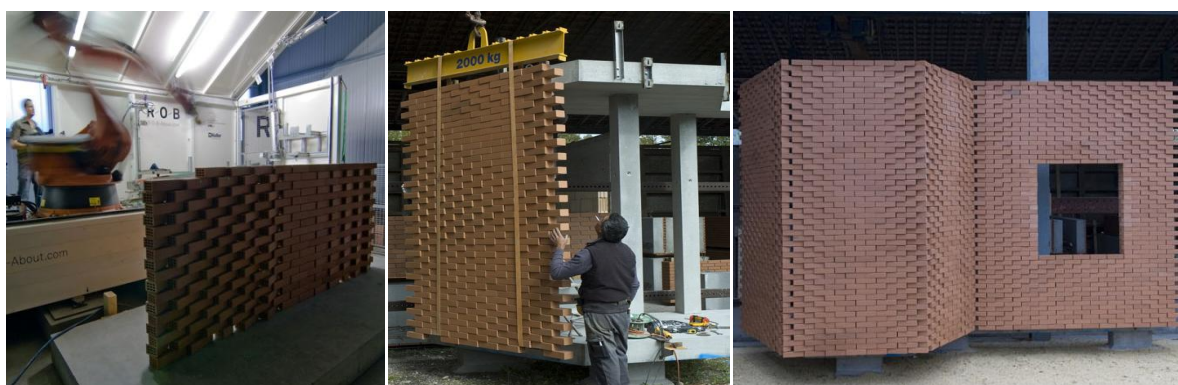


Fig. 21 – Uso da robótica na construção de uma parede prefabricada de alvenaria. [22]

A industrialização da construção através da prefabricação exige que sejam realizados estudos prévios para garantir a viabilidade da aplicação desta solução construtiva em elementos resistentes e não resistentes de alvenaria. No entanto, o conhecimento atual e a informação disponível sobre, por exemplo, o comportamento mecânico, critérios e normativas de cálculo e dimensionamento das alvenarias prefabricadas é pouco.

A norma ASTM C901, *Standard Specification for Prefabricated Masonry Panels*, é o regulamento que abrange as regras de projeto e o controle da qualidade estrutural do fabrico de painéis prefabricados de alvenaria resistente e não resistente. De acordo com David Ballast, no seu livro *Handbook of Construction Tolerances* baseado nos regulamentos, as tolerâncias dimensionais para os painéis de alvenaria prefabricados dependem do seu tamanho, tal como se mostra na tabela 5. [23]

Tabela 5 - Limites dimensionais de painéis prefabricados. [23]

Dimensão do painel, L ou H	Tolerância
3.05m ou menor	$\pm 3.2\text{mm}$
entre 3.05m e 6.1m	+3.2mm, -4.8mm
entre 6.096m e 9.144m	+3.2mm, -6.4mm
Por cada 3.05m adicionais: $\pm 1.6\text{mm}$	

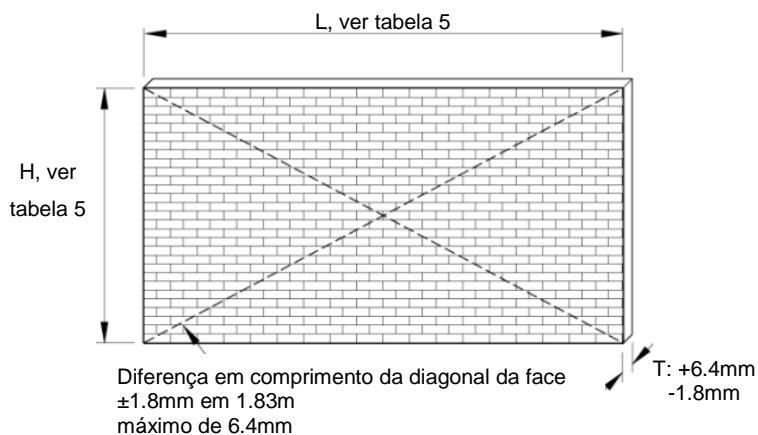


Fig. 22 - Painéis de alvenaria prefabricados. [23]

A produção de elementos arquitetônicos em fábrica goza das inúmeras vantagens que a prefabricação oferece: obtenção de um produto mais econômico e com qualidade, independente da sua geometria e detalhes, em menos tempo.

Um exemplo é a chaminé leve de alvenaria da empresa Brickability, que refere a possibilidade deste elemento poder ser transportado e montado dentro de poucas horas no local da obra.



Fig. 23 - Chaminés de alvenaria prefabricadas. [24].

A mesma empresa produz três tipos de arcos de alvenaria prefabricados, que incluem arcos estruturais e não estruturais, e uma variedade de tijolos de dimensões e formas especiais, talhados a partir de tijolos standardizados.



Fig. 24 - Arcos de alvenaria prefabricados. [24].



Fig. 25 - Unidades de alvenaria especiais. [24]

Em Portugal o uso da prefabricação em sistemas de alvenaria não é uma escolha típica e ainda tem obstáculos a ultrapassar, tais como a falta de poder económico para investimento inicial, a luta contra ideias do passado preconcebidas da construção e a falta de mão-de-obra especializada. No entanto é necessário acompanhar a evolução do mundo de forma a apostar na inovação tecnológica e na atualização do conhecimento.

3

SISTEMAS DE MONTAGEM E ASSENTAMENTO DE ALVENARIAS

3.1. NOTA PRÉVIA

Neste capítulo serão apresentados conceitos relacionados com os elementos constituintes de uma parede de alvenaria e suas características de acordo com as normas portuguesas em vigor. Neste âmbito serão apresentadas algumas soluções de produtos desenvolvidos pela empresa Weber Saint-Gobain.

São também descritos os processos de montagem e assentamento de paredes de alvenaria de forma tradicional, ou seja, em estaleiro, e de forma prefabricada. Para além disso, serão referidos métodos de transporte dos painéis prefabricados para a obra, dentro da fábrica e *in situ*.

Por fim, será feita uma abordagem ao sistema Redbloc como exemplo de alvenaria prefabricada em fábrica com recurso a sistemas automatizados.

3.2. TIPOS DE JUNTAS

Sendo a definição de juntas o espaço entre as unidades de alvenaria, preenchidas ou não por argamassa, estas podem ser classificadas segundo a sua posição, a sua espessura e segundo a sua continuidade.

- **Tipos de juntas em função da sua posição**

Segundo o EC6 [5], as juntas podem ser de assentamento, verticais ou longitudinais. O primeiro tipo refere-se à camada entre as faces horizontais de unidades de alvenaria. A junta vertical, também designada de junta de topo, é perpendicular à junta horizontal e ao paramento da parede. O último tipo de junta citado refere-se à junta vertical na espessura da parede e paralela ao paramento desta. A figura 26 ilustra os três tipos de juntas.

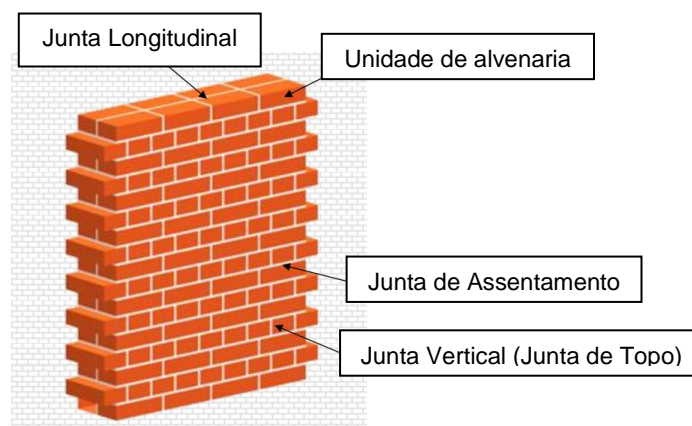


Fig. 26 - Representação das juntas. [25]

- **Tipos de juntas em função da sua espessura**

Quando a espessura do espaço entre duas unidades varia entre os 8 e os 12 mm, este é chamado de junta corrente. O preenchimento desta junta é feita com argamassas correntes. Uma junta delgada é o espaço reduzido entre as unidades de alvenaria, que varia entre os 0,5 mm e os 3 mm. É preenchida por argamassa-cola. [25]

- **Tipos de juntas em função da sua continuidade**

As juntas contínuas estendem-se de uma face à outra sem nenhum vazio e as juntas descontínuas são juntas de argamassa que paralelamente à face da parede apresentam um ou mais vazios horizontalmente (junta horizontal) ou verticalmente (junta vertical).

Por fim, uma junta de encaixe, que pode ser vertical ou horizontal, é o espaço entre dois elementos adjacentes facilmente unidos devido a saliências e reentrâncias na forma dos elementos – fig.27.

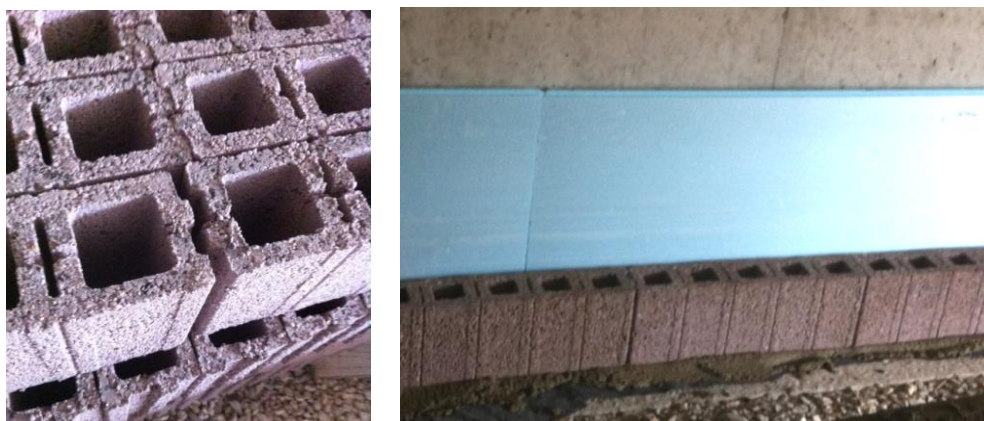


Fig. 27 – Elementos de alvenaria com juntas verticais de encaixe.

3.3. TIPOS DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

Apesar de corresponder a aproximadamente 7% do volume da parede, a função da argamassa de assentamento no desempenho da estrutura é mais importante do que aparenta. A sua influência estende-se ao nível do isolamento acústico, da estanquidade à água e ar, da resistência ao fogo, do comportamento estrutural, bem como a nível estético. Desta forma, a escolha dos materiais usados e

do método de produção tem um papel influenciador nas propriedades de endurecimento e aderência da argamassa e consequentemente no resultado final.

A argamassa de assentamento tem o propósito de unir unidades de alvenaria, ou seja, de preencher e selar as juntas. Os principais ingredientes da argamassa são ligantes, agregados e água, podendo ser adicionados aditivos e adjuvantes para aperfeiçoar o desempenho ou conferir a argamassa de propriedades especiais, como maior aderência ou permeabilidade à água. Estes ingredientes adquirem as suas propriedades físicas após o endurecimento da pasta resultante da mistura.

Antes do endurecimento ocorrer, as propriedades mais importantes da argamassa são a trabalhabilidade, capacidade de retenção de água e a fluidez. Uma areia bem graduada torna a argamassa mais “trabalhável”, assim como a inclusão de cal, ar ou mais água durante a amassadura. A capacidade de retenção, que avalia a facilidade com que a água de amassadura da argamassa é perdida por evaporação ou por contacto com um material absorvente, aumenta com o aumento da proporção de cal na mistura. Depois de endurecida, a aderência, a durabilidade e a resistência à compressão são as características mais relevantes. A primeira influencia a segunda, para além de afetar também a resistência às condições atmosféricas e ao carregamento. Se a argamassa não apresentar bolhas de ar nem áreas secas, então existe uma boa aderência ao elemento de alvenaria. A última propriedade referida aumenta com a proporção de cimento na mistura, mas tem comportamento inverso quando a se aumenta o uso de cal, de água e ar. [1]

Segundo o Eurocódigo 6, a argamassa de montagem (ou assentamento) pode ser classificada em função dos seus constituintes, do método de definição da sua composição e do modo de fabrico.[5]

- **Tipos de argamassa em função dos constituintes:**

- Argamassa corrente (ou de uso geral) – argamassa para espaços entre unidades de alvenaria maiores que 3mm, sem características especiais;
- Argamassa delgada (ou argamassa-cola) – utilizada para o preenchimento de juntas delgadas, ou seja para espaços com espessura menor que 3mm, calculada com agregados de dimensão máxima inferior ou igual a 2mm de modo a evitar “pontos duros” de contacto;
- Argamassa leve – argamassa que, segundo o designado na EN 998-2 [26], apresenta massa volúmica aparente seca (após endurecimento) inferior ou igual a 1300 kg/m³.

- **Tipos de argamassa em função do método de definição da sua composição:**

- Argamassa calculada – é a argamassa que foi estudada e fabricada para satisfazer determinadas propriedades.
- Argamassa de composição prescrita – baseado no conceito de receita, esta argamassa é fabricada segundo proporções específicas e pré-definidas e cujas propriedades são previstas a partir das proporções dos ingredientes.

- **Tipos de argamassa em função do modo de fabrico:**

- Argamassa industrial – doseada e misturada em fábrica, cuja trabalhabilidade pode atingir 36 horas, quando adicionados retardadores.
- Argamassa de alvenaria industrial semi-acabada – pode ser definida em argamassa pré-doseada ou argamassa pré-misturada de cal e areia. A primeira é constituída por ingredientes totalmente doseados e preparados em fábrica e misturados no estaleiro segundo as condições e especificações indicadas pelo fabricante. A segunda argamassa referida é doseada e misturada em fábrica, sendo adicionados em obra

outros constituintes especificados ou fornecidos pelo fabricante e misturados com a cal e a areia.

- Argamassa feita em obra – constituintes primários doseados e misturados na obra de forma manual ou mecânica.

Como anteriormente referido, os materiais empregues na execução de uma argamassa influenciam diretamente as características desta, como a resistência, a estanquidade e a durabilidade. Por exemplo, a cal é um material que oferece boa trabalhabilidade e boa retenção de água, mas em contrapartida a resistência que confere a argamassa é baixa. No caso do cimento a resistência é melhor e este confere velocidade ao endurecimento, para além de conferir a argamassa boa trabalhabilidade. No entanto a sua utilização tem um maior custo. Assim, uma das possíveis soluções de argamassa é a combinação de cimento com cal de forma a obter uma mistura mais completa.

Portanto é possível classificar as argamassas pelos ligantes usados na sua composição, como a seguir se apresenta.

• **Tipos de argamassa em função do fim a que se destinam:**

- Argamassas aéreas – são aquelas que endurecem ao ar e que, por isso podem ser constituídas por cal aérea ou por gesso. Estas argamassas devem ser usadas em revestimentos interiores.
- Argamassas hidráulicas – são argamassas que para além de endurecerem ao ar, também endurecem em contacto com a água e podem ser argamassas de cal hidráulica ou de cimento.
- Argamassas mistas ou bastardas – são aquelas que na sua composição têm mais que um ligante, por exemplo, cimento e cal.

O EC6 [5] prevê as composições em volume das argamassas correntes de modo a se obter as classes de resistência recomendadas no Anexo Nacional – tabela 6.

Tabela 6 - Composição em volume (cimento: cal hidratada ou cal hidráulica: areia) de argamassa corrente prescrita para as classes de resistência preconizadas no Anexo Nacional, Quadro NA.II do EC6. [5]

Classe de resistência da argamassa	Composição em volume da argamassa		
	Argamassa de cimento e cal hidratada	Argamassa de cimento e cal hidráulica	Argamassa de cimento
M5	1: ½ – 1: 4 ½ - 5	1: ½ – 1: 4 ½ - 5	1:4
M10	1: 0 – 1/4: 3	1: 0 – 1/4: 3	1:3

Segundo a NP EN 998-2:2013, os requisitos de argamassa de assentamento endurecidas são os que se apresentam na seguinte tabela:

Tabela 7 - Requisitos para as propriedades da argamassa de assentamento endurecida. [27]

Propriedades	Normas de ensaio	Tipo de argamassa		
		Uso geral G	Camada fina T	Leve L
Resistência à compressão (classe)	EN 1015-11	Para as argamassas de desempenho. A resistência à compressão terá que ser superior à classe declarada.		
Resistência ao cisalhamento (N/mm ²)	EN 1052-3	= Valor declarado Para argamassas de desempenho a serem utilizadas em elementos sujeitos a requisitos estruturais.		
	EN 998-2	Valor tabelado		
	Anexo C	Para argamassas de desempenho a serem utilizadas em elementos sujeitos a requisitos estruturais.		
Absorção de água (kg/(m ² .min ^{0,5}))	EN 1015-18	= Valor declarado Para argamassas a serem utilizadas em exteriores com exposição direta (ex. Paredes de tijolo face à vista).		
Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água (μ)	EN 1745	Valor declarado Para argamassas a serem utilizadas em exteriores com exposição direta (ex. Paredes de tijolo face à vista).		
Massa volúmica (kg/m ³)	EN 1015-10	Intervalo declarado Apenas nas argamassas em que seja relevante para o fim em uso. Intervalo declarado = 1300		
Condutividade térmica (W/m.K)	EN 1745 Tabela A.12	Valor tabelado Para argamassas a serem utilizadas em elementos sujeitos a requisitos térmicos.		
	EN 1745 Ponto 4.2.2	< Valor tabelado Para argamassas a serem utilizadas em elementos sujeitos a requisitos térmicos.		
Reação ao fogo (classe)	NP EN 13501-1	Classe declarada: <ul style="list-style-type: none"> Argamassas, com % em massa ou em volume (a que for mais elevada) de matéria orgânica inferior a 1%, podem ser classificados como classe A1, sem necessidade de efetuar qualquer teste. Argamassas, com % em massa ou em volume (a que for mais elevada) de matéria orgânica superior a 1%, devem ser classificados de acordo com NP EN 13501-1 e declarada a respetiva classe de reação ao fogo. 		
Durabilidade		Não há requisitos prescritos para a durabilidade, podem ser avaliados com base na legislação nacional (se existir).		

Por ser de fácil determinação, a resistência à compressão é a característica usada na identificação da argamassa, bem como no controlo de qualidade e na classificação estrutural. A classificação das argamassas é expressa pela letra M seguida do valor da resistência à compressão em N/mm^2 . O Quadro NA.I do EC6 apresenta classes de referência da resistência da argamassa à compressão.

Tabela 8 - Classes de referência da resistência à compressão da argamassa, Quadro NA.I do EC6. [5]

Designação	M5	M10
f_m (N/mm^2)	5	10

3.4. TIPOS DE UNIDADES DE ALVENARIA

Segundo o EC6, as unidades de alvenaria devem pertencer a um dos seguintes grupos: [5]

- Unidades cerâmicas;
- Unidades sílico-calcárias;
- Unidades de betão de agregados (correntes ou leves);
- Unidades de betão celular autoclavado;
- Unidades de pedra reconstituída;
- Unidades de pedra natural aparelhada.

Destas unidades as que são resultantes de uma produção industrial são as chamadas de alvenaria artificial e podem ser de furação horizontal, ou seja, paralela ao plano de assentamento ou de furação vertical, na direção normal ao plano de assentamento. As unidades de alvenaria naturais são essencialmente pedra.

Nos países do sul e centro da Europa o tipo de unidades mais utilizadas são os tijolos cerâmicos e os blocos de betão de agregados correntes ou leves. Na construção portuguesa predomina o tijolo cerâmico de furação horizontal para paredes de preenchimento de fachadas ou divisórias, sendo esta unidade usada em mais de 90% das alvenarias. O tijolo maciço ou com furação vertical é também usado apenas em paredes exteriores. [2,19]

Apesar de na construção portuguesa serem menos utilizados que os tijolos, os blocos de betão sofreram progressivas transformações nos seus constituintes, evoluindo assim para blocos de betão leve, que apresentam melhores características de desempenho, como por exemplo, melhor comportamento térmico e ao fogo.

Alguns elementos que não são muito usados incluem tijolos revestidos a gesso em painéis pré-fabricados para paredes de compartimentação, tijolos cerâmicos alveolados de furação vertical e blocos de betão celular autoclavado. [4]

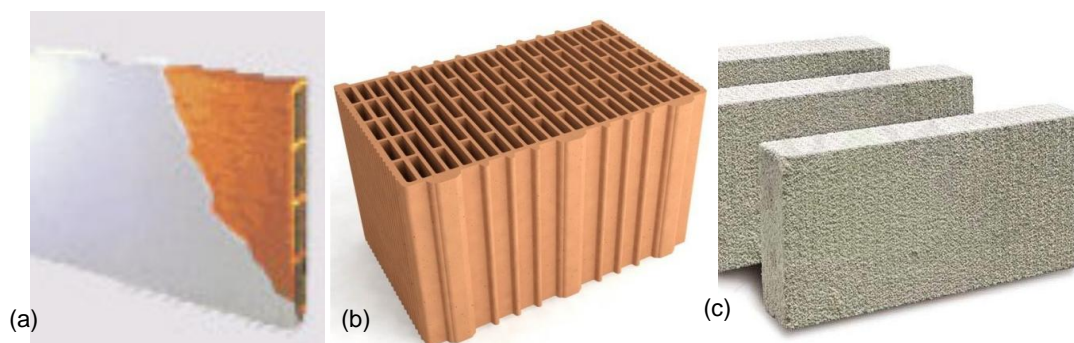


Fig. 28 - (a) tijolos revestidos a gesso; (b) tijolo cerâmico de furação vertical; (c) betão celular autoclavado.

Independentemente do tipo de unidade de alvenaria, as características mais importantes e desejáveis são:

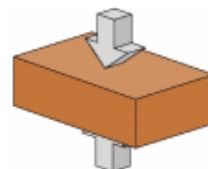
- Resistência mecânica;
- Durabilidade;
- Comportamento sob a ação da água e humidade;
- Segurança contra incêndio;
- Dimensões uniformes e tolerâncias;
- Configuração e aspeto adequados;
- Massa volúmica;
- Capacidade de aderência;
- Comportamento térmico.

Os requisitos geométricos, físicos e mecânicos das unidades de alvenaria são definidos pela norma EN771, bem como os ensaios a serem realizados a estes elementos.

Em relação ao comportamento mecânico, as principais características resistentes das unidades de alvenaria estão associadas a dois tipos de ações:

- Resistência à compressão, que depende muito da forma das unidades e da resistência do material constituinte;
- Resistência inicial ao corte ou aderência, que depende do tipo de unidades e das condições de preparação das superfícies das unidades, do tipo de argamassas de assentamento e da qualidade de mão-de-obra.

▪ *Resistência à compressão*



▪ *Resistência inicial ao corte ou aderência entre unidade/junta*

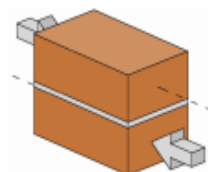


Fig. 29 – Representação dos tipos de solicitação à unidade de alvenaria. [28]

As normas referem que a resistência à compressão das unidades de alvenaria a adotar no projeto deve ser a resistência média normalizada à compressão, f_b . A resistência à compressão normalizada refere-se à resistência à compressão de uma unidade equivalente com 100 mm de largura por 10 mm de altura e seca ao ar. [5]

Tabela 9 - Classes de referência da resistência das unidades para alvenaria, Quadro NA.III EC6. [5]

Designação	U3 ^{a)}	U4	U5	U7	U10	U15	U20
f_b (N/mm ²)	3	4	5	7	10	15	20
^{a)} Classe permitida apenas em unidades com espessura não inferior a 250mm.							

Um dos requisitos é que a unidade de alvenaria seja suficientemente durável durante todo o período de vida útil da construção face a agentes agressivos, como humidade, variação de temperatura ou agentes químicos. A presença de humidade nas unidades é um fator que pode provocar variações dimensionais, bem como condensações internas nas paredes. Os intervalos expectáveis de retração e expansão são definidos no EC6, não sendo estes valores limites. No entanto, as normas obrigam a determinação do coeficiente de difusão de vapor de água e da absorção de água das unidades de alvenaria de paredes exteriores ou quando estas têm função de corte de capilaridade. Estas características são essenciais na avaliação do risco de condensações internas. Os graus de exposição F2, F1 e F0 permitem a avaliação do risco de exposição ao gelo/degelo das unidades, sendo possível adotar medidas preventivas que melhor protejam estes elementos. No caso das unidades cerâmicas, o teor de sulfatos solúveis deve ser determinado quando estas tenham uma proteção limitada.

As unidades de alvenaria não podem contribuir para o início do incêndio nas paredes nem para a sua propagação. Por isso, a determinação das classes de reação ao fogo destes elementos é importante na avaliação da satisfação dos requisitos mínimos estabelecidos nos regulamentos. Estas classes de reação ao fogo são determinadas através de ensaios normalizados e variam entre a classe A1 e a classe F, sendo a primeira para materiais que não tenham qualquer contribuição para o fogo e a segunda para materiais que tenham apresentado comportamento negativo nos ensaios. [28]

A geometria das unidades de alvenaria também é um aspeto importante, pois a verticalidade das paredes é assegurada em parte pelo assentamento adequado das unidades. Desta forma a regularidade geométrica e dimensões constantes destes elementos devem ser garantidas limitando possíveis desvios dimensionais. Os requisitos geométricos e dimensionais previstos no EC6 permitem a produção de unidades mais robustas que garantam um comportamento mecânico adequado de paredes de alvenaria, especialmente de paredes estruturais. [28] A tabela 10 apresenta os requisitos geométricos para os diferentes tipos de unidade de alvenarias do EC6.

A massa volúmica é outra característica das unidades de alvenaria cujos valores são limitados, pois tem influência tanto no transporte e manuseio destes elementos, assim como no peso próprio da alvenaria. Para além disso, é um aspeto que tem relevância na avaliação do isolamento térmico e acústico. [28]

A condutibilidade térmica equivalente das unidades de alvenaria, determinada através de métodos experimentais ou numéricos previstos na norma EN 1745, é importante na determinação do desempenho térmico de soluções de paredes de alvenaria e na avaliação do cumprimento dos requisitos de desempenho higratérmico das paredes da envolvente. [28]

Tabela 10 - Requisitos geométricos para o agrupamento de unidades para alvenaria, Quadro 3.1 do EC6. [5]

	Materiais e limites aplicáveis às unidades de alvenaria							
	Grupo 1 (todos os materiais)		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4	
		Unidades	Alvéolos verticais				Alvéolos horizontais	
Volume de todos os alvéolos (% do volume bruto)	≤25	cerâmicas	>25; ≤55		≥25; ≤70		>25; ≤70	
		sílico-calcárias	>25; ≤55		não utilizado		não utilizado	
		de betão ^{b)}	>25; ≤60		>25; ≤70		>25; ≤50	
Volume de qualquer alvéolo (% do volume bruto)	≤12,5	cerâmicas	cada um dos alvéolos múltiplos ≤2 rebaixos para pega até um total de 12,5		cada um dos alvéolos múltiplos ≤2 rebaixos para pega até um total de 12,5		cada um dos alvéolos múltiplos ≤30	
		sílico-calcárias	cada um dos alvéolos múltiplos ≤15 rebaixos para pega até um total de 30		não utilizado		não utilizado	
		de betão ^{b)}	cada um dos alvéolos múltiplos 30 rebaixos para pega até um total de 30		cada um dos alvéolos múltiplos ≤30 rebaixos para pega até um total de 30		cada um dos alvéolos múltiplos ≤25	
Valores declarados da espessura dos septos interiores e das paredes exteriores (mm)	Sem requisitos		septo interior	septo exterior	septo interior	septo exterior	septo interior	septo exterior
		cerâmicas	≥5	≥8	≥3	≥6	≥5	≥6
		sílico-calcárias	≥5	≥10	não utilizado		não utilizado	
		de betão ^{b)}	≥15	≥18	≥15	≥15	≥20	≥20
Valor declarado da espessura combinada ^{a)} de septos interiores de paredes exteriores (% da largura total)	Sem requisitos	cerâmicas	≥16		≥12		≥12	
		sílico-calcárias	≥20		não utilizado		não utilizado	
		de betão ^{b)}	≥18		≥15		≥45	
^{a)} A espessura combinada é a soma das espessuras dos septos interiores e das paredes exteriores da unidade, medidas horizontalmente através da unidade, na perpendicular às faces. A verificação é considerada como um ensaio de qualificação e só necessita de ser respeitada no caso de alterações significativas das dimensões especificadas das unidades.								
^{b)} No caso de alvéolos cónicos, ou de alvéolos celulares, utilizar o valor médio da espessura dos septos interiores e das paredes exteriores.								

3.4.1. UNIDADE DE ALVENARIA CERÂMICA

A Norma EN 771-1 divide os tijolos cerâmicos em dois tipos:

- Tijolos LD – unidades com massa volúmica seca bruta menor ou igual a 1000 kg/m^3 , utilizados em paredes de alvenaria protegida (é aquela que está protegida contra a penetração da água);
- Tijolos HD – unidades com massa volúmica mais elevada destinadas não só a paredes protegidas mas também a paredes expostas, ou seja, que possui face á vista exposta as condições climáticas exteriores, sem reboco ou outra proteção equivalente.

As principais exigências relacionadas com as unidades de alvenaria cerâmicas são apresentadas na seguinte tabela:

Tabela 11 - Exigências e características aplicáveis a unidades de alvenaria cerâmicas. [2]

	Características
Geométricas	Dimensões exteriores Geometria interna Percentagem de Furação Tolerância das dimensões exteriores
Físicas	Aspeto e textura Massa volúmica da argila Absorção de água por capilaridade Absorção de água por imersão Eflorescências e sais solúveis Inclusões de cal viva Expansão com humidade Resistência ao gelo
Mecânicas	Resistência à compressão Resistência à tração por flexão Módulo de elasticidade
Receção do Produto	Identificação e data de fabrico Ensaio de receção

3.4.2. UNIDADE DE ALVENARIA BETÃO

De acordo com a norma EN 771-3, os blocos de betão são divididos em 2 grupos em função do seu material constituinte:

- Blocos de betão de agregados correntes

- Blocos de betão de agregados leves – apresentam massa volúmica inferior a 2000 kg/m^3 e a sua composição contém agregados leves, artificiais ou naturais, como por exemplo, Leca ou poliestireno. A sua resistência mecânica é menor do que a resistência de blocos de betão corrente.

É de ainda referir que os blocos de betão podem ser maciços ou de furação vertical.

3.4.3. SOLUÇÕES WEBER [29]

A Weber Saint-Gobain é uma empresa que estudou o conceito de Parede Eficiente e assim desenvolveu soluções que garantem o funcionamento harmonioso entre os elementos, assegurando a satisfação das exigências funcionais e níveis de desempenho esperados de uma parede. O sistema é constituído por elementos de alvenaria do tipo blocos de betão leve vibrocomprimidos utilizando agregados de argila expandida Leca, também designados por blocos Leca. As vantagens que estas unidades oferecem são as seguintes:

- Unidades de alvenaria mais leves que facilitam o seu manuseamento e assentamento, aumentando assim a produtividade. Para além disso, reduz o peso das paredes e cargas permanentes sobre a estrutura;
- Resistência dos blocos garantida, podendo mesmo ser usadas em alvenarias estruturais e resistentes;
- Isolamento térmico superior ao de blocos de betão corrente ou do que os tijolos cerâmicos (esta propriedade deve-se à presença de Leca na sua constituição);
- Isolamento acústico elevado em alguns tipos de bloco, dependendo da sua geometria; permitem a construção de paredes simples com índice de redução sonora elevado;
- Comportamento ao fogo superior, devido a presença de betão leve Leca;
- Elevada planimetria, devido ao encaixe vertical e/ou horizontal e ao rigor dimensional dos elementos, dispensando reboco de nivelamento;
- Redução ou eliminação da argamassa de assentamento nas juntas verticais entre elementos.

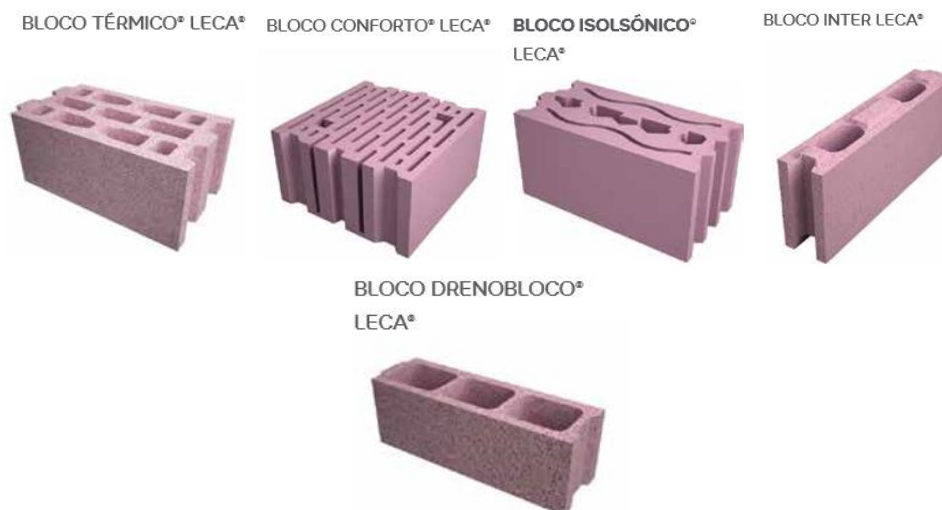


Fig. 30 - Blocos Leca para Paredes Eficientes. [29]

É importante referir que a produção destes blocos é feita em fábrica completamente adaptada ao conceito de industrialização. A fábrica é equipada com avançadas tecnologias de produção, formando um processo cíclico e automatizado, onde estão envolvidos cerca de 2 operários por turno. A figura mostra alguns momentos de produção de blocos de betão leve em fábrica.



Fig. 31 – Momentos de produção do bloco leve de Leca: a) Elevador de transporte de elementos “frescos” ou “verdes” moldados sobre pranchas; b) Unidades de alvenaria na câmara de cura; c) Unidades de alvenaria depois do processo de cura; d) Transporte das unidades de alvenaria para processo de escolha e paletização; e) Colocação das unidades de alvenaria em paletes; f) Embalagem das unidades de alvenaria; g) Unidades de alvenaria prontas para transporte.

3.5. PROCESSO CONSTRUTIVO

Os processos de produção e montagem de uma parede de alvenaria são tão ou mais importantes que o seu planeamento, uma vez que a qualidade do produto depende da qualidade de mão-de-obra. “The best intentions of the architect or engineer will not produce a masterpiece unless the workmanship is of the highest order and the field practices are as exacting and competent as the detailing” [1]

A colocação de cada elemento constituinte de uma parede de alvenaria deve ser feita de acordo com as recomendações de uma boa prática, pois cada elemento tem uma função específica que só desempenha se for corretamente utilizada. É, portanto, um trabalho que requer rigor e experiência.

De seguida são descritos diferentes processos de construção de uma parede de alvenaria de tijolo, nomeadamente o método de construção tradicional e o método de construção prefabricada, e o transporte dos painéis prefabricados.

3.5.1. MÉTODO DE CONSTRUÇÃO TRADICIONAL

Em primeiro lugar, é necessário colocar uns perfis de madeira na vertical apoiados no solo que servirão de delimitação do início e fim da parede. Para delimitar a espessura da parede estica-se um cordel paralelamente ao chão e atado entre os dois perfis de madeira – fig.32.

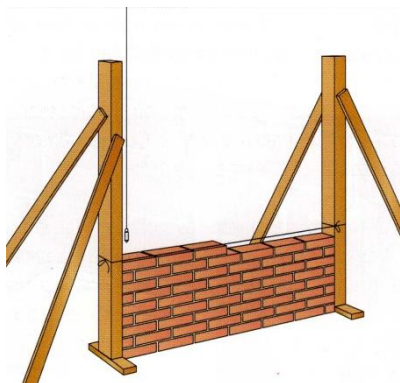


Fig. 32 - Colocação dos perfis de madeira.

Começa-se assim a assentar os tijolos. A primeira camada de argamassa, que deverá ser a mais espessa, é colocada nas fundações e de seguida é colocada a primeira fiada de tijolos. Estes devem de estar paralelos ao chão e caso isto não aconteça é preciso retificar com pancadas até se obter a posição correta. Depois torna-se a colocar argamassa nas faces do tijolo, tal como se exemplifica na figura 33 (a). Para cada fila de tijolos é necessário ir deslocando o cordel para cima para a verificação do alinhamento. Para um acabamento mais perfeito é preciso preencher as juntas, com o auxílio de um raspador de ponta dobrada, de forma a colmatar as diferenças entre tijolos – fig. 33 (b) (c).

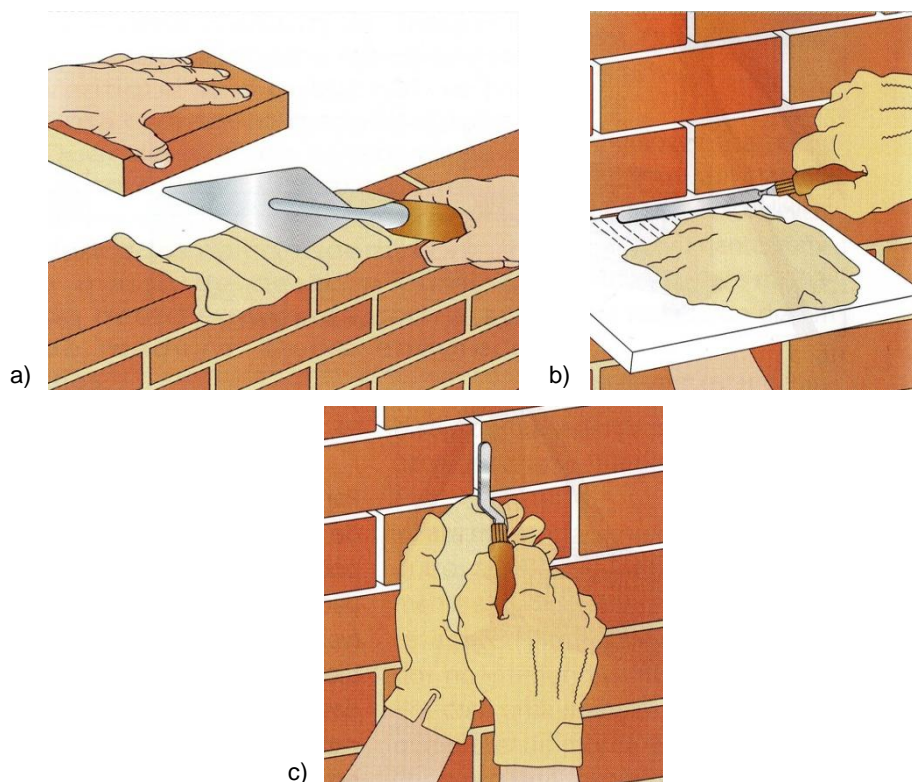


Fig. 33 - Aplicação da argamassa: (a) assentamento dos tijolos; (b) preenchimento das juntas; (c) preenchimento das juntas com auxílio de um raspador de ponta dobrada.

Note-se que um pedreiro consegue assentar tijolos até uma altura de aproximadamente 1,60m. Para alturas superiores é necessário recorrer à montagem de andaimes, normalmente com um nível de altura. O uso de andaimes na obra obriga a que sejam considerados no projeto o tempo de montagem e desmontagem, custos de aluguer e a consideração de espaço para a sua colocação. Para além disso, muitas vezes o espaço em cima do andaime é insuficiente para a movimentação do operário e a colocação das ferramentas necessárias à construção da parede e por isso é desperdiçado tempo para o operário se baixar e pegar o material. Portanto a produtividade diminui – fig. 34.



Fig. 34 - Assentamento de tijolos com recurso a andaime.

3.5.1.1. Aplicação da Argamassa

Atualmente as argamassas industriais ou semi acabadas têm mais popularidade uma vez que é garantida melhor qualidade do que aquela feita em obra. No primeiro caso devem-se consultar as Fichas Técnicas e as Fichas de Segurança para a correta execução e aplicação da argamassa, que muitas vezes só necessita da adição de água – fig. 35. No caso de a argamassa tradicional, a mistura e amassadura são feitas com as matérias-primas de que a obra dispõe. Geralmente este trabalho é feito mecanicamente (fig.36 a), através de uma betoneira, mas também pode ser realizada manualmente (fig.36 b). Tanto num caso como no outro, o trabalho acaba por ser mais demorado para além de não ser garantida a homogeneidade e a boa consistência da argamassa no momento de aplicação, pois estas podem ser aplicadas só algumas horas depois.



Fig. 35 – Argamassa industrial em silo.

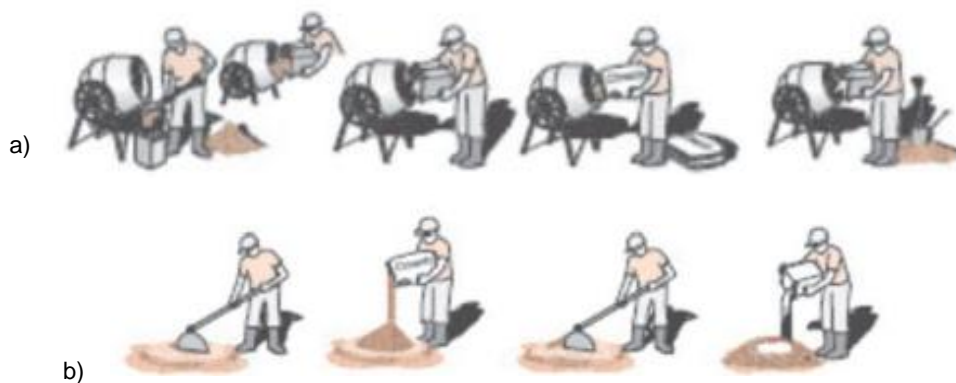


Fig. 36 – Argamassa feita em obra: (a) mecanicamente; (b) manualmente.

Relativamente à sua aplicação, a argamassa pode ser posta manualmente, com uma colher de pedreiro e uma talocha, ou projetada, com recurso a um funil aplicador - fig.37.

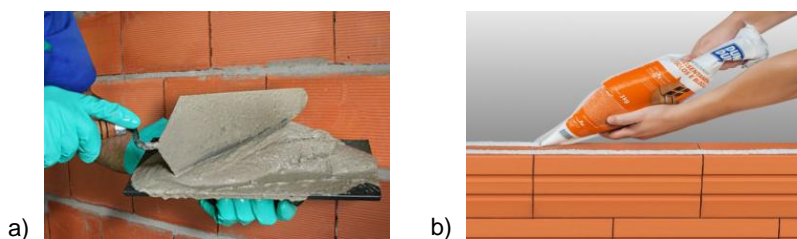


Fig. 37 – (a) Colher de pedreiro e talocha; (b) funil aplicador.

Depois da aplicação da argamassa é necessário nivelar a superfície de modo a se obter um bom desempenho mecânico. Hoje em dia, já existem diversos utensílios que auxiliam o pedreiro na aplicação da argamassa sem gerar tanto desperdício, obtendo um trabalho mais perfeito e que ainda diminuiu o tempo necessário a esta operação – fig.38 e fig.39. Por exemplo, o utensílio Argafast, um produto produzido pela EngeMaqui, permite a aplicação da argamassa nas juntas verticais uniformemente em todos os tijolos, proporcionando economia do material gasto. Para as juntas horizontais, a empresa desenvolveu uma máquina doseadora que possibilita o ajuste a tijolos de diversas dimensões. Como é de simples uso, a sua aplicação torna-se mais rápida, aumentando a produtividade e a qualidade da obra.



Fig. 38 – Argafast e máquina doseadora.



Fig. 39 – “Gabarito” para aplicação de argamassa nas juntas horizontais.

3.5.1.2. Corte dos tijolos

Para cortar a unidade de alvenaria no estaleiro pode-se optar por uma rebarbadora ou, para tijolos mais frágeis, por um escopro de tijolo de pedreiro e martelo – fig. 40 (a) e (b). O ponto de pedreiro serve também para cortar tijolos mais duros – fig. 41.

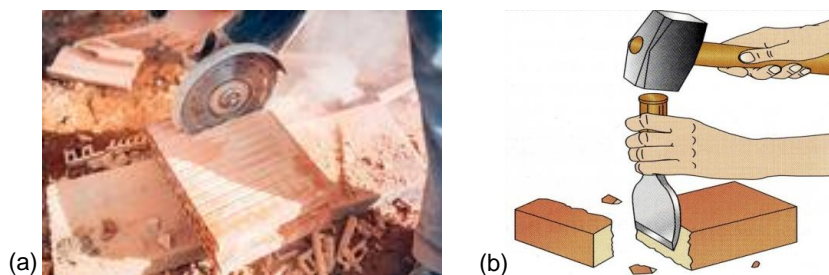


Fig. 40 - Corte de unidades de alvenaria cerâmica: (a) mecanicamente; (b) manualmente.



Fig. 41 - Utensílios de pedreiro.

Esta é uma operação que pode ter um custo excessivo para a obra devido a desperdícios e sobras. Por isso é importante ter um bom e cuidadoso planeamento das dimensões da parede e modelação. Para além disso é recomendável encomendar unidades com dimensões especiais, ou seja, já cortadas em fábrica, de modo a diminuir as perdas de material.

3.5.2. MÉTODO DE PRODUÇÃO EM FÁBRICA

Como já abordado no capítulo anterior, a prefabricação de paredes de alvenaria é sem dúvida um método vantajoso para a construção a níveis principalmente económicos, de produtividade e de qualidade. O método de produção pode ser feito de forma manual ou usando a robótica.

No primeiro caso a parede pode ser construída na vertical, não sendo preciso erguer a parede depois da cura – fig.42 (a). No entanto a sua produção necessita de andaimes, implicando mais tempo “desperdiçado”. A parede pode também ser construída na horizontal, tornando o processo mais simples – fig.42 (b).

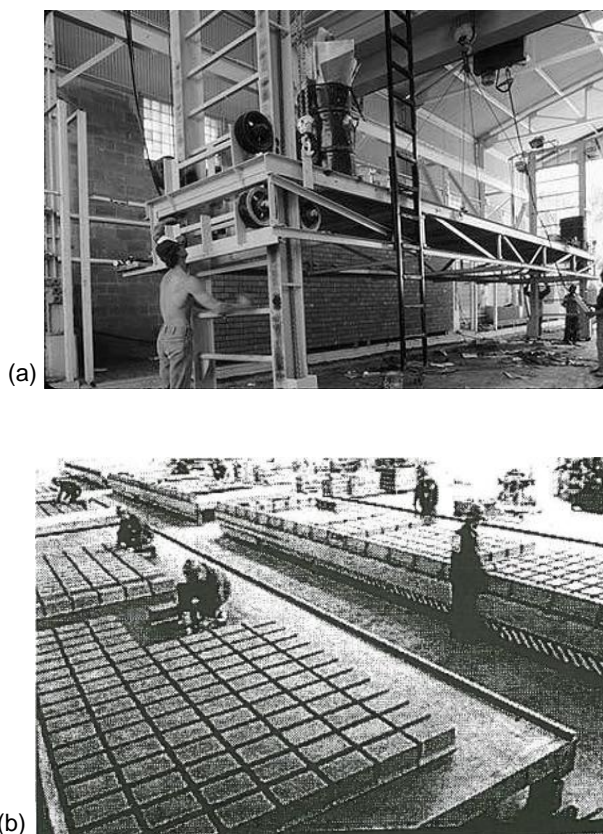


Fig. 42 - Prefabricação de uma parede de alvenaria: (a) na vertical; (b) na horizontal. [20]

No segundo caso referido o esforço humano requerido no processo é mínimo, ou seja, a probabilidade de ocorrência de acidentes e lesões do operário é menor, uma vez que a produção e todo o manuseamento dos materiais são feitos por sistemas mecanizados. É de notar que a prefabricação robótica também têm as inúmeras vantagens já mencionadas anteriormente, isto é a nível económico, ambiental, de produtividade e de qualidade. Desta forma, ainda no presente capítulo, será analisado este método de construção de alvenaria, fazendo referência ao sistema Redbloc, com produção na Áustria, Bélgica, Alemanha, Rússia e Itália.

3.5.3. TRANSPORTE E MONTAGEM DOS PAINÉIS

O transporte dos painéis prefabricados é uma etapa que requer atenção e alguns cuidados, desde a sua movimentação dentro da fábrica, à sua deslocação até ao local da obra e à colocação na sua final posição. [30] Isto porque, para além de ser necessário garantir a segurança dos trabalhadores, a certeza de que o painel desempenhará corretamente a função para a qual foi projetado é preciso ser assegurada.

No caso dos painéis de alvenaria, devido ao seu elevado peso, devem ser tomadas medidas de segurança de forma a serem evitados danos no elemento durante o seu manuseamento. Dentro da fábrica os painéis podem ser deslocados através de tapetes rolantes e/ou com o auxílio de pontes rolantes – fig. 43. O camião é meio utilizado para transportar os elementos de alvenaria entre a fábrica e o estaleiro. É de notar que o tamanho máximo deste meio de transporte pode limitar a dimensão máxima do painel, assim como o peso do painel também determina as características do equipamento de transporte e manuseamento a utilizar em obra.

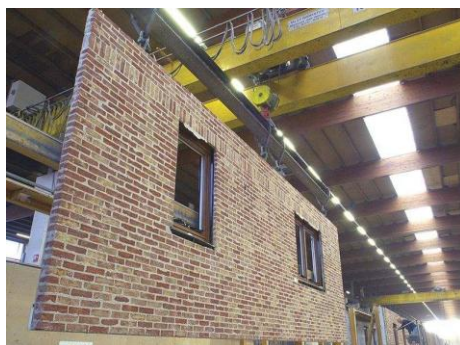


Fig. 43 - Sistema de transporte dos painéis em fábrica.

Como já referido, a elevação e o manuseio dos painéis devem ser etapas cuidadosamente planeadas de modo a serem evitados acidentes de trabalho. Por isso, para todos os equipamentos de transporte, deve ser garantida a capacidade de elevação de cargas. Normalmente são usadas gruas para elevar e colocar o painel no seu devido local. Para isso é necessário utilizar um sistema de elevação, como se mostra na fig.44, ou incorporar ganchos no painel aquando a sua construção, tal como ilustrado na fig.45. No caso das unidades de alvenaria utilizadas no painel forem tijolos de furação vertical, podem também ser inseridas ancoragens nos seus vazios, posteriormente preenchidos por argamassa, que permitirão a elevação do painel através da grua, tal como se exemplifica na figura 46. [20]



Fig. 44 - Sistemas de elevação dos painéis em obra.

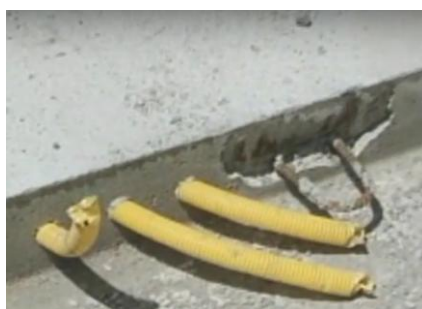


Fig. 45 - Gancho previamente incorporado no painel.

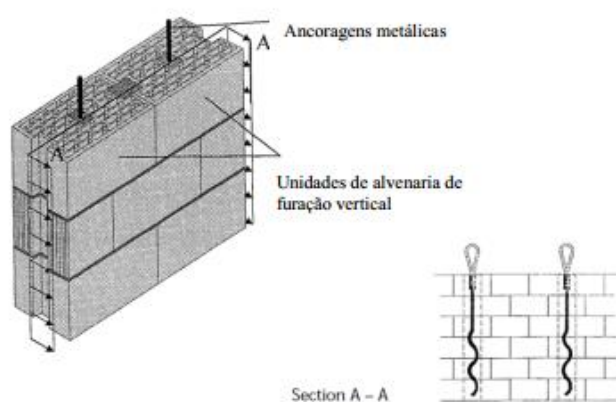


Fig. 46 - Sistema de suspensão através de ancoragens. [20]

Em 1973, Paul Thomas patenteou a sua invenção “System for Lifting and Handling Panels”, que refere um sistema para a elevação e manuseamento de lajes e painéis, em particular, painéis de alvenaria prefabricados. O sistema compreende meios de fixação do painel ajustáveis à sua dimensão e que permitem realizar sua instalação com um correto alinhamento vertical. O painel é envolvido por dois elementos removíveis a uma distância de um terço do comprimento do painel a partir do fim deste, tal como é ilustrado na figura 47. Para evitar a pressão da banda que envolve o painel, são utilizados suportes de canto na forma de “L” na face inferior destes, prevenindo a rutura do painel nestes pontos. O Anexo 1 apresenta o documento oficial da patente, onde todo o sistema e pormenores são descritos.

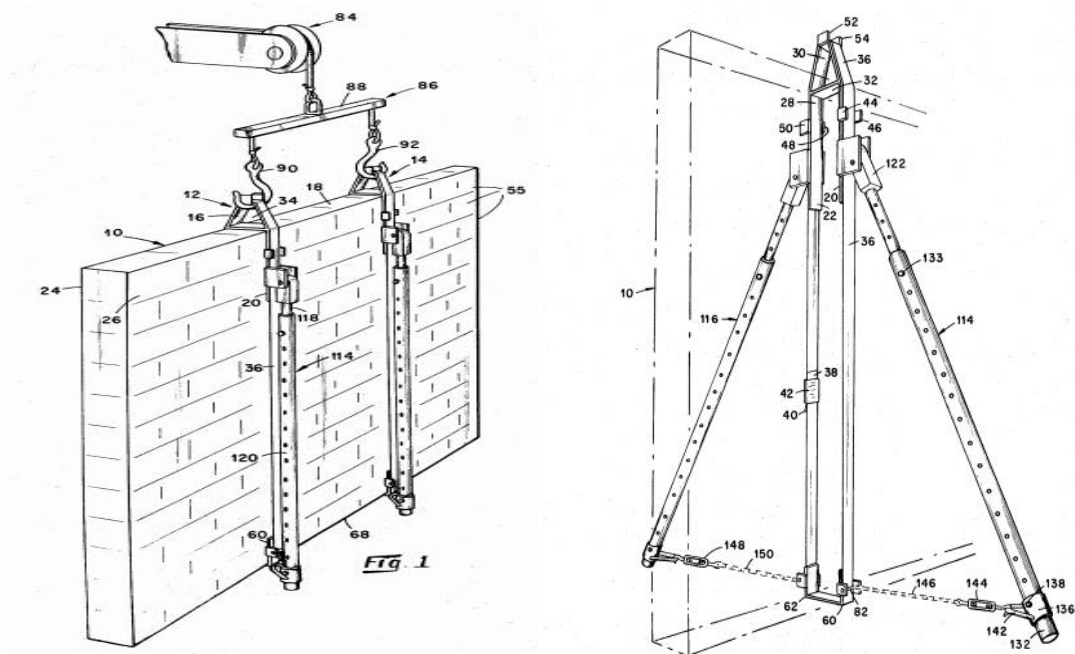


Fig. 47 – “System for Lifting and Handling Panels” de Paul M. Thomas: (a) perspectiva do sistema de elevação do painel; (b) painel de alvenaria prefabricado na posição vertical através deste sistema. [30]

3.5.4. SISTEMA REDBLOC [31]

A tecnologia usada pelo sistema Redbloc permite a construção prefabricada de paredes de alvenaria cerâmica e betão celular, entre outros, sem ser necessária argamassa nas juntas e sem pontes térmicas. A empresa refere uma produção anual de 150 000 a 200 000 m² de parede, sendo possível levantar um edifício simples em 4 dias.

O processo construtivo começa por transferir o desenho da planta em CAD para o sistema interno do robô.

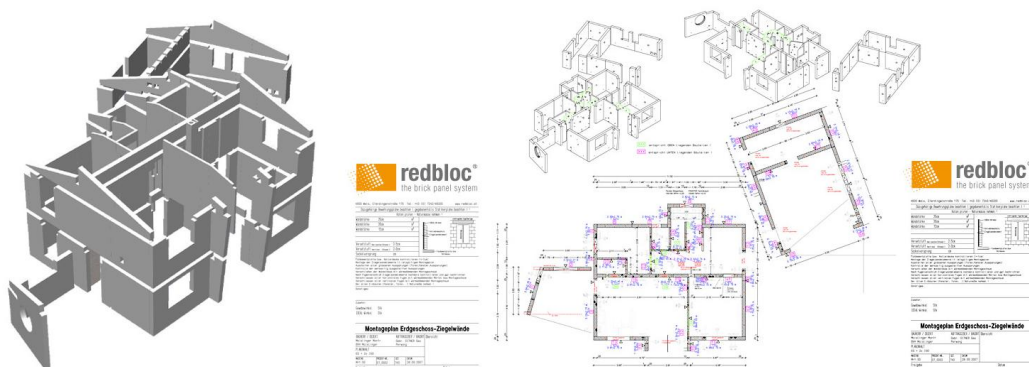


Fig. 48 - Estrutura exemplo. [31]

Ao mesmo tempo as unidades de alvenaria que chegam á fábrica são transportadas e colocadas nos tapetes rolantes das máquinas por um montacargas, passando de seguida por um processo de limpeza para retirar poeira e sujidade dos elementos.



Fig. 49 - Processo de produção. [31]

Depois estes elementos passam pela máquina de aplicação de cola, de acordo com um processo patenteado. A fiada de alvenaria já colada é transportada por um agarrador para uma paleta, ao mesmo tempo que começa o processo de colagem da segunda fiada.



Fig. 50 - Processo de produção - Operação de colagem. [31]

Quando a altura da parede planeada é atingida (sendo o máximo permitido 3,5m) a paleta é mudada. O processo de endurecimento da cola demora 20 minutos e de seguida a alvenaria é transferida para uma máquina de corte a jato de água, onde todos os cortes planeados em projeto são realizados (aberturas da parede, saídas de elementos elétricos e limites de dimensão da parede). As paredes já cortadas são numeradas e colocadas em paletes para serem transportadas para o estaleiro.

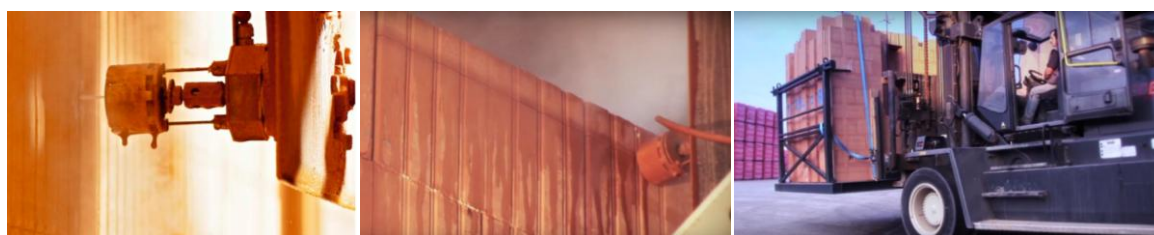


Fig. 51 - Processo de produção - Operação de corte. [31]

Já em obra a parede prefabricada é colocada verticalmente com uma grua sobre uma camada de argamassa e ancorada para sua estabilização. Entre as juntas dos módulos prefabricados coloca-se espuma vedante de juntas.



Fig. 52 - Montagem dos painéis em obra. [31]

O tempo de construção de uma habitação unifamiliar, exemplificada nas imagens, foi reduzido em 5 semanas pois não é necessário fase de secagem e as instalações já estão integradas nos painéis.

3.5.5. CONSTRUÇÃO TRADICIONAL VS CONSTRUÇÃO PREFABRICADA

Desde o momento de fabrico à sua utilização, a unidade de alvenaria passa por diferentes etapas dependendo do tipo do método de construção utilizada, isto é construção tradicional ou construção prefabricada. O fluxograma de seguida exposto, apresenta o caminho do elemento de alvenaria desde o momento de fabrico até à sua colocação na posição final pelo método convencional e pelo método da prefabricação.

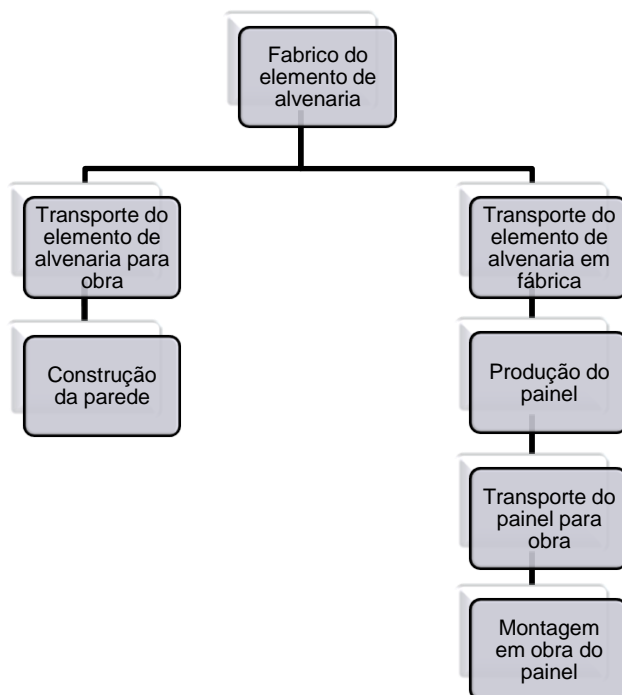


Fig. 53 – Fluxograma: construção tradicional vs construção prefabricada.

Cada etapa referida, abordada anteriormente neste capítulo, faz uso de diferentes tipos de materiais e elementos de construção. Como já estudado, o transporte a utilizar para a situação prefabricada é diferente do transporte utilizado no sistema tradicional. Isto porque o caminhão para transportar os painéis prefabricados terá especificações mais exigentes que o caminhão usado no transporte das paletes dos elementos de alvenaria. Do mesmo modo, as gruas e sistemas de elevação terão diferentes exigências para os dois tipos de métodos de construção e para os diversos momentos da obra.

É evidente o maior controle exigido na construção prefabricada, controle este refletido num aumento de custos. No entanto, e como será abordado mais à frente no presente trabalho, a produtividade e qualidade consequentes da produção dos painéis em fábrica reduzem significativamente o custo total da obra.

4

PRÉ-FABRICAÇÃO EM PAREDES DE ALVENARIA

4.1. NOTA PRÉVIA

Neste capítulo será estudado o comportamento de paredes de alvenaria prefabricadas e serão analisados os métodos de ligação entre os painéis prefabricados e a restante estrutura. Por fim será feita uma abordagem à produtividade e qualidade da prefabricação na área da alvenaria, descrevendo o exemplo do projeto das Casas Olé.

4.2. COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS PAREDES DE ALVENARIA

4.2.1. COMPORTAMENTO MECÂNICO EM GERAL

A modernização do setor para obter produtos de maior qualidade obriga a um estudo prévio do desempenho das novas soluções, elementos e materiais usados, de modo a se evitarem problemas patológicos em fases de construção e utilização. Consequentemente o custo global da obra é menor, pois este para além de depender do custo de construção depende também do custo de manutenção.

O desempenho de uma estrutura deve ser avaliado do ponto de vista dos estados limites último e de utilização, devendo ser consideradas a resistência mecânica, a estabilidade, as deformações e a formação de fissuras. Deste modo, a avaliação do comportamento de paredes de alvenaria tem como objetivo analisar o seu desempenho estrutural face a esforços mecânicos, especialmente face a esforços de compressão. Os ensaios para melhor se conhecer o comportamento de painéis submetidos a carregamentos são: [\[32\]](#)

- Ensaios de resistência à compressão
- Ensaios de resistência à flexão
- Ensaios de resistência ao corte

Os ensaios realizados aos materiais que constituem a alvenaria, nomeadamente ensaios relativos às características mecânicas destes, variam de acordo com a norma de cada país. Isto deve-se não só ao desenvolvimento independente das normas nos diferentes países, como também à existência de diferentes materiais e práticas de construção de cada país.

A alvenaria apresenta um comportamento diferente para cada direção de carga. É um material que apresenta um bom comportamento à compressão, mas fraca resistência ao corte e à flexão. A resistência a esforços aplicados na vertical, ou seja de tração, depende da aderência à argamassa à

superfície dos tijolos. No caso de serem aplicados esforços horizontais, isto é de flexão, a resistência depende da capacidade de transferir esforços entre as fiadas de blocos.

4.2.1.1. Resistência à compressão [32]

A resistência à compressão de uma parede de alvenaria é a propriedade mais importante, pois geralmente a parede é submetida a carregamentos verticais mais intensos que os horizontais produzidos pelo vento e sismos. Quando isto acontece, as unidades de alvenaria são submetidas a tensões de compressão e tração e a argamassa a tensões de compressão. [33]

A resistência à compressão da alvenaria pode ser obtida através de ensaios normalizados às unidades de alvenaria, a prismas (associação intercalada entre a unidade e a junta de assentamento) e aos painéis de alvenaria.

Para a obtenção da resistência à compressão da alvenaria, os ensaios realizados a prismas são os mais usados devido às vantagens que apresentam. Devido à menor dimensão comparativamente a uma parede, o prisma é de mais fácil manuseamento, tornando os ensaios mais fáceis, com menor necessidade de recursos e de menor custo.

Os ensaios a painéis de alvenaria podem ser ensaios dispendiosos devido às suas dimensões na escala real. Por isso para estes ensaios são necessários equipamentos especiais e de elevada capacidade de carga, mão-de-obra especializada e grandes superfícies laboratoriais.

O Eurocódigo 6 refere que a resistência característica à compressão da alvenaria, f_k , deve ser determinada a partir de resultados de ensaios de provetes de alvenaria realizados para um projeto específico ou obtidos a partir de uma base de dados de resultados de ensaios anteriormente realizados. Os resultados devem ser expressos sob a forma de tabela ou de acordo com a expressão: [5]

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta \quad (4.1)$$

A expressão poderá ser simplificada dependendo da argamassa e das unidades de alvenaria utilizadas, valores tabelados, constantes e limitações fornecidas no Anexo Nacional, entre outras especificações referidas no EC6.

A resistência à compressão da alvenaria e o modo de rutura dos seus componentes varia de unidade para unidade e com os diferentes tipos de argamassas. O comportamento da alvenaria é assim afetado essencialmente pela resistência da unidade de alvenaria, pela resistência da argamassa de assentamento, pela espessura das juntas de assentamento, pela geometria da unidade, pela deformação característica do bloco e argamassa e pela qualidade da mão-de-obra.

- **Resistência da unidade de alvenaria**

A resistência à compressão das unidades de alvenaria é um fator determinante na resistência da alvenaria. Esta influência da unidade na alvenaria pode ser definida pelo fator de eficiência, obtido pela divisão da resistência à compressão do prisma de alvenaria pela resistência à compressão da unidade e é geralmente menor que um. Assim, se a resistência da unidade aumenta, o fator de eficiência diminui. [34]

$$\eta = \frac{f_p}{f_u} \quad (4.2)$$

Num estudo experimental feito a diferentes tipos de prismas de blocos de betão, o fator de eficiência médio determinado foi de 0,63 para um prisma com duas juntas horizontais. [34]

Outros estudos mais antigos sugerem diferentes fatores de eficiência para diferentes tipos de unidades de alvenaria, como se apresenta na tabela 12.

Tabela 12 - Fator de eficiência para diferentes tipos de unidades [32]

Unidades	Fator de eficiência (%)	Autor
Tijolo cerâmico	25 a 50	Sahlin (1971)
Tijolo cerâmico	17 a 28	Prudêncio (1986)
Bloco de betão	65 a 100	Sutherland (1981)
Bloco cerâmico	11 a 13	Muller (1989)

• Resistência da argamassa de assentamento

A argamassa de alvenaria é aquela que adquire boa resistência, boa aderência e boa capacidade de absorver movimentos derivados de tensões mecânicas, gradientes térmicos e humidade. Por outro lado, a influência da resistência à compressão deste material no comportamento da alvenaria, isto é na resistência à compressão da parede, não é muito significativa.

Quanto maior a quantidade de cimento na argamassa maior a resistência desta. Do mesmo modo, quanto maior a quantidade de cal, água e ar na argamassa menor a resistência desta. Já a diminuição de água na argamassa não é solução para aumentar a resistência desta, uma vez que a trabalhabilidade de argamassa ficaria comprometida. Outro aspeto que reduz a resistência da argamassa é a presença de areias finas em excesso.

A figura apresenta a influência não significativa da resistência da argamassa na resistência da alvenaria, cujos valores foram obtidos através de resultados de estudos passados.

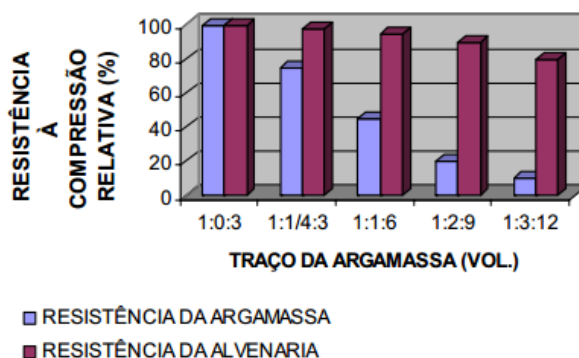


Fig. 54 - Variação da resistência da parede em função da resistência da argamassa. [32]

- **Espessura das juntas de assentamento**

A resistência da alvenaria aumenta com a diminuição da espessura das juntas de assentamento. No entanto esta espessura não deve ser muito baixa, pois a junta não será capaz de absorver imperfeições que ocorram nas unidades.

- **Geometria da unidade**

A geometria da unidade de alvenaria é importante e condicionante no comportamento da parede, sendo a resistência à compressão desta influenciada tanto pela forma, tamanho e homogeneidade do bloco, como pela orientação e espessura dos septos da unidade.

- **Deformação característica do bloco e argamassa**

O aumento da diferença da deformação entre a unidade de alvenaria e a argamassa origina um aumento de tensões e consequentemente a ruptura por tração da parede para cargas menores.

A capacidade da alvenaria de distribuir as deformações internas e externas

- **Mão-de-obra**

A deficiente mão-de-obra é um dos principais fatores que tem influencia o comportamento mecânico da alvenaria. Este comportamento pode ser afetado pela incorreta dosagem e mistura da argamassa, pela formação incorreta e mau preenchimento das juntas de assentamento, pela movimentação das unidades de alvenaria após a sua colocação, pelo incorreto alinhamento da parede, pelas fracas condições de cura, pela exposição a condições climáticas adversas após o assentamento.

A fiscalização rigorosa e inspeção dos trabalhos em obra são medidas que melhoram a qualidade da mão-de-obra, podendo os problemas referidos ser evitados e parede ter uma resistência 70% superior às paredes realizadas em obras sem inspeção. [35]

4.2.1.2. Resistência à flexão [32]

Sendo a resistência à flexão a capacidade da parede resistir a esforços horizontais aplicados segundo uma direção fora do seu plano, esta depende do plano de aplicação das cargas. A resistência à flexão oferecida não é igual para as diferentes direções dos planos das cargas devido à anisotropia do material, ou seja, devido às diferentes propriedades apresentadas nas diferentes direções.

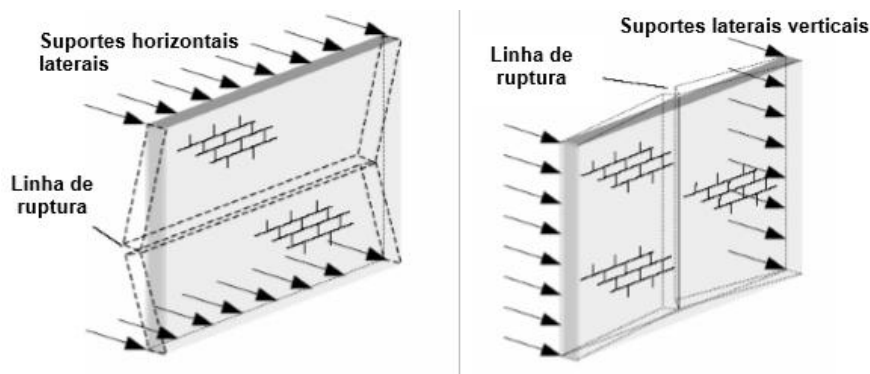


Fig. 55 - Tipos de suporte para paredes sob carga lateral: (a) Parede apoiada horizontalmente; (b) Parede apoiada verticalmente.

Se o plano de aplicação das forças horizontais é paralelo às juntas de assentamento, a resistência da parede depende da resistência à tração da argamassa e da aderência da argamassa aos tijolos ao longo da junta de assentamento. Neste caso a rutura da parede dá-se no plano paralelo à junta de assentamento. – fig. 54 (a).

Se o plano de aplicação das forças horizontais é perpendicular às juntas de assentamento, a resistência da parede é maior devido ao desencontro das juntas verticais das unidades de alvenaria. Neste caso a rutura dá-se num plano perpendicular à junta de argamassa – fig. 54 (b).

Tabela 13 – Valores de f_{xk1} para um plano de rotura paralelo às juntas de assentamento. [5]

Unidades para alvenaria	$f_{xk1} (N/mm^2)$			
	Argamassa corrente		Argamassas para juntas delgadas	Argamassa leve
	$f_m < 5 N/mm^2$	$f_m \geq 5 N/mm^2$		
Cerâmicas	0,10	0,10	0,15	0,10
Silico-calcárias	0,05	0,10	0,20	Não utilizada
De betão de agregados	0,05	0,10	0,20	Não utilizada
De betão celular autoclavado	0,05	0,10	0,15	0,10
De pedra reconstituída	0,05	0,10	Não utilizada	Não utilizada
De pedra natural aparelhada	0,05	0,10	0,15	Não utilizada

Tabela 14 – Valores de f_{xk2} para um plano de rotura perpendicular às juntas de assentamento. [5]

Unidades para alvenaria		$f_{xk2} (N/mm^2)$			
		Argamassa corrente		Argamassas para juntas delgadas	Argamassa leve
		$f_m < 5 N/mm^2$	$f_m \geq 5 N/mm^2$		
Cerâmicas		0,20	0,40	0,15	0,10
Silico-calcárias		0,20	0,40	0,30	Não utilizada
De betão de agregados		0,20	0,40	0,30	Não utilizada
De betão celular autoclavado	$\rho < 400 kg/m^3$	0,20	0,20	0,20	0,15
	$\rho \geq 400 kg/m^3$	0,20	0,40	0,30	0,15
De pedra reconstituída		0,20	0,40	Não utilizada	Não utilizada
De pedra natural aparelhada		0,20	0,40	0,15	Não utilizada

Tal como para a determinação da resistência característica à compressão, o Eurocódigo 6 refere que a resistência característica à flexão da alvenaria deve ser determinada a partir de resultados de ensaios da alvenaria realizados para um projeto específico ou obtidos a partir de uma base de dados de resultados de ensaios anteriormente realizados. Os ensaios devem ser efetuados com base na norma NP EN 1052-2. Quando estes resultados de ensaios não estiverem disponíveis, é possível a utilização dos valores apresentados nas tabelas 13 e 14 retiradas do EC6. [5]

A resistência à flexão depende assim do tipo de unidade de alvenaria, da argamassa utilizada e da aderência entre estes dois materiais.

4.2.1.2. Resistência ao corte

A resistência característica ao corte da alvenaria f_{vk} , segundo o Eurocódigo 6, deve ser determinada a partir de ensaios, feitos de acordo com a NP EN 1052-3, realizados para um projeto específico ou obtidos a partir de uma base de dados de resultados de ensaios anteriormente realizados. É possível calcular esta resistência através da expressão, atendendo às restrições em relação à argamassa usada:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4\sigma_d \quad (4.3)$$

O valor da resistência característica inicial ao corte da alvenaria, f_{vk0} , para além de poder ser determinada a partir de uma base de dados de resultados de ensaios anteriormente realizados, pode também ser retirado do Quadro 3.4 do EC6. Estes valores dependem do tipo de unidade de alvenaria e do tipo de argamassa. [5]

4.2.2. COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS PAREDES DE ALVENARIA PREFABRICADAS

Apesar de ainda não existirem regulamentos específicos para alvenarias prefabricadas, estas têm em geral um comportamento mecânico análogo ao das alvenarias feitas *in situ*. No entanto, é preciso ter em atenção às ligações entre painéis e com a estrutura, onde devem ser tomadas medidas que garantam que essas zonas não serão pontos frágeis.

4.3. DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Um dos aspetos a ter em conta na estabilidade de paredes é a ligação destas ao resto da estrutura. Como se sabe, os elementos do edifício serão sujeitos a vários tipos de ações, como o peso próprio, sobrecargas, ações dinâmicas, ações acidentais entre outras. Desta forma, o papel das ligações é garantir a capacidade de resistência a estas solicitações. Tendo em conta esta particularidade, no caso da estabilidade das paredes exteriores é preciso ter em conta as ligações da alvenaria à estrutura. Nas paredes interiores, para além das ligações à estrutura, é preciso ter em conta a ligação com paredes ortogonais, com o pavimento e com o teto.

4.3.1. LIGAÇÃO DAS PAREDES SEGUNDO O EC6 [5]

O Eurocódigo 6 prevê as seguintes ligações de paredes:

- Ligações das paredes com pavimentos e coberturas – quando as paredes estão travadas por pavimentos ou coberturas;
- Ligações entre as paredes – quando duas paredes se intersectam ou quando existem paredes duplas ou paredes-cortina ou paredes composta.

- **Ligações das paredes com pavimentos e coberturas**

Neste caso as paredes devem ser ligadas aos pavimentos ou coberturas de modo a que a transmissão de cargas laterais aos elementos de contraventamento seja garantida. A capacidade de transmissão pode ser garantida de três formas diferentes: pela resistência de atrito entre apoios dos elementos estruturais e as paredes de alvenaria; por grampos de amarração metálicos; por ligações de extremidade adequadas devidamente encastradas.

A ligação por atrito dá-se quando a resistência devida ao atrito entre o pavimento/cobertura/cintas de bordadura e a parede é suficiente para transmitir as cargas laterais.

A ligação por grampos de amarração deve garantir a transmissão das cargas laterais entre a parede e as estruturas de contraventamento, sendo o espaçamento dos grampos entre a parede e o pavimento ou cobertura menor que 2m para edifícios até 4 pisos. No caso de edifícios mais altos o espaçamento deverá ser 1,25m.

A ligação feita através de ligadores ou cintas de bordadura deverá ser colocada ao nível de cada piso ou logo abaixo. No caso de ligadores periféricos de betão armado, estes deverão garantir continuidade e deverão ter uma armadura de no mínimo dois varões de pelo menos 150 mm². As cintas de bordadura deverão assegurar o travamento horizontal da parede, no caso desta se ligar a um pavimento com camadas deslizantes sob os apoios.

- **Ligações entre paredes**

No caso de duas paredes resistentes que se intersectam, a transmissão entre estas de cargas verticais e horizontais atuantes devem ser garantidas pela sua ligação que deverá ser feita pelo aparelho de alvenaria ou por ligadores ou armaduras que penetrem o interior de cada parede.

Numa parede dupla, os dois panos devem ser ligados entre si por um número de ligadores de parede maior do que 2 por m² e maior do que n_t por m², sendo $n_t \geq \frac{W_{ed}}{F_d}$ (W_{ed} representa a ação horizontal, por m², a ser transmitida e F_d representa a resistência à compressão ou à tração de um ligador de parede)

A ligação de uma parede cortina a uma parede interior deverá ser feita da mesma forma do que uma parede dupla.

No caso de uma parede composta, os ligadores deverão ser uniformemente distribuídos e devem ser no mínimo 2 por m², sendo que neste caso alguns tipos de armaduras prefabricadas de junta podem funcionar como ligadores entre os dois panos da parede.

4.3.2. CRITÉRIOS DE PROJETO DE LIGAÇÕES EM ALVENARIA PREFABRICADA

O projeto de ligações deve ter em conta diversos fatores que podem influenciar no dimensionamento destas. Assim, de seguida são descritos critérios que devem ser considerados nesta fase de planeamento de uma parede de alvenaria prefabricada.

- **Comportamento estrutural:**

- Resistência – a ligação deve ser projetada para resistir as solicitações a que possa ser submetida durante a sua vida útil: peso próprio, sobrecargas, ações do vento, ações sísmicas, ações acidentais
- Influência decorrente de mudanças de volume – estas mudanças de volume podem ocorrer devido à fluência ou a variações de temperatura. A ligação a paredes interiores sujeitas a menores variações de temperatura é uma zona particularmente sensível a variações de temperatura. A variação de temperatura exterior, ou a diferença de temperatura entre o exterior e interior, ou até a variação de temperatura no elemento construtivo pode levar à dilatação da parede, da estrutura porticada ou da cobertura. Uma das ações preventivas, para além da colocação de armaduras nas paredes ou de um isolamento térmico eficaz, é o uso de ligações elásticas ou de juntas de dilatação. Para isso pode-se optar por projetar ligações que permitam esse movimento ou pode-se impedir esse movimento. Neste último caso as ligações tem que ser capazes de absorver e transmitir as forças provenientes dessa restrição.
- Ductilidade – é uma característica importante a ser considerada no projeto. Este deve propor um dimensionamento das ligações que não leve à rutura destas no caso de serem submetidas a forças maiores do que as previstas. Ou seja, as ligações devem ter a capacidade de sofrer deformação plástica.
- Durabilidade – como já referido é de boa prática considerar a proteção das ligações contra agentes agressivos de forma a garantir uma vida útil alargada, sem risco de pôr em causa a estrutura. Os elementos metálicos devem ser protegidos contra a oxidação através de pinturas anti-ferrugem, camadas de proteção de argamassa ou através da utilização de aço inoxidável.

- **Tolerâncias dimensionais:** este é um fator importante quando se fala em construção prefabricada, pois durante o processo de produção podem ocorrer desvios nas dimensões dos módulos do edifício, causando problemas com a sua montagem em obra. Por isso as ligações deveriam ser projetadas de forma a permitir ajustes, possibilitando assim o correto alinhamento e nivelamento do elemento durante o processo de montagem.

- **Resistência ao fogo:** as ligações devem ser protegidas contra o risco de incêndio, uma vez que a sua exposição a este fator pode pôr em causa a capacidade de transferência de forças, pondo em causa a estabilidade da estrutura. As ligações nas juntas em paredes e pisos não devem permitir a passagem de chamas e gases para outro compartimento e por isso devem de usar material que cumpra os requisitos de segurança contra incêndio. Uma possível solução é a proteção dos elementos com argamassa ou betão.

O dimensionamento das ligações deve ter em vista que o maior custo-benefício é obtido das soluções mais simples, com desempenho adequado e que possibilitem uma montagem rápida. Na fase de projeto é preciso ter em conta os requisitos associados às ligações, como por exemplo, exigências estéticas, de durabilidade ou requisitos de produção, transporte e montagem dos elementos prefabricados. [36]

- **Produção:** As ligações devem ser dimensionadas de forma a evitar complicações durante a sua produção. É recomendável que se minimize o número de elementos embutidos (que requerem mais trabalho que resulta em mais tempo) e que se opte por elementos já padronizados (o que reduz a probabilidade de ocorrência de erros na produção) e que repitam detalhes o mais quanto possível (uma vez que se tira proveito do efeito de aprendizagem -

quantas mais vezes repetir melhor vou fazer – e não se perde tempo em aprender a executar um novo detalhe).

- **Transporte:** o projeto deve ter em consideração as dimensões das ligações, pois estas podem levar a problemas de transporte e armazenamento. O manuseamento da parede prefabricada também pode ser dificultado pela existência de saliências de armaduras ou outros componentes, e por isso é preciso ter em especial atenção esta situação.
- **Montagem:** o projeto deve prever as consequências do processo de colocação da parede prefabricada, sendo necessário projetar as ligações tendo em vista as ações resultantes do transporte, levantamento e posicionamento dos elementos prefabricados, para além das condições durante estes processos, tais como a existência de forças do vento ou carregamentos excêntricos. Recomendam-se ligações ajustáveis de forma a serem permitidos desvios dimensionais ou em caso de incorreto posicionamento dos elementos. Para além disso, é de bom planeamento que as ligações sejam acessíveis durante o processo de montagem, para ser possível proceder-se a ações de posicionamento e fixação dos elementos á estrutura.

4.3.3. LIGAÇÃO NUMA ESTRUTURA DE ALVENARIA PREFABRICADA

Os elementos de fixação usados para ligar os painéis de alvenaria prefabricados devem prever os critérios anteriormente referidos, de modo a garantir a segurança e estabilidade da estrutura.

Uma possível ligação entre o painel e a estrutura é a colocação de conectores na parte superior do painel que suportam o seu peso próprio e que posteriormente são ligados a barras de aço soldadas a acessórios metálicos inseridos na laje ou nos pilares. [20]

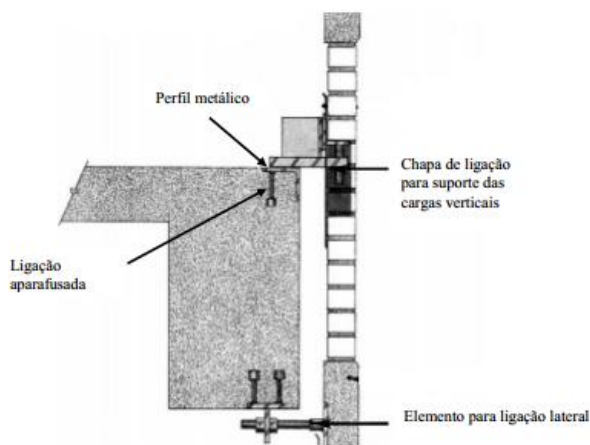


Fig. 56 – Ligação entre o painel prefabricado e a estrutura. [20]

As juntas verticais são zonas onde se fazem as ligações entre painéis e que podem ser feitas através de soldas. [37]

4.3.4. EXEMPLO DE LIGAÇÃO

Um estudo feito na Universidade Federal de Santa Catarina no Brasil, com o objetivo de melhorar o comportamento dos sistemas construtivos prefabricados de alvenaria estrutural, analisou um modelo

de uma ligação vertical, que atua em conjunto com os painéis, para edifícios até cinco pisos. As etapas da investigação desenvolvida foram as seguintes:

- Determinação das propriedades físicas de cada material e componente utilizando no modelo da ligação.
- Ensaio experimental de três protótipos do modelo de ligação com vista ao estudo do seu comportamento.
- Definição do modelo numérico de acordo com as propriedades dos materiais usados e tipos de apoio durante o ensaio.

A geometria do modelo analisado é uma junção de cinco primas de quatro fiadas de tijolos (140 x 290 x 440 mm), com juntas verticais de 10 mm e juntas horizontais de 5 mm. No entanto a ultima junta horizontal leva uma camada de argamassa de 20 mm de espessura, armada com uma tela metálica de modo a minimizar a ocorrência de fissuras – fig. 56. Procedeu-se a recortes nas unidades cerâmicas nas secções de junção dos prismas e preencheram-se os espaços vazios com argamassa de assentamento e colocou-se uma armadura metálica com barras de 10 mm. Estes recortes contribuíram positivamente para o desempenho da ligação e também a armadura contribuiu para um aumento de rigidez.

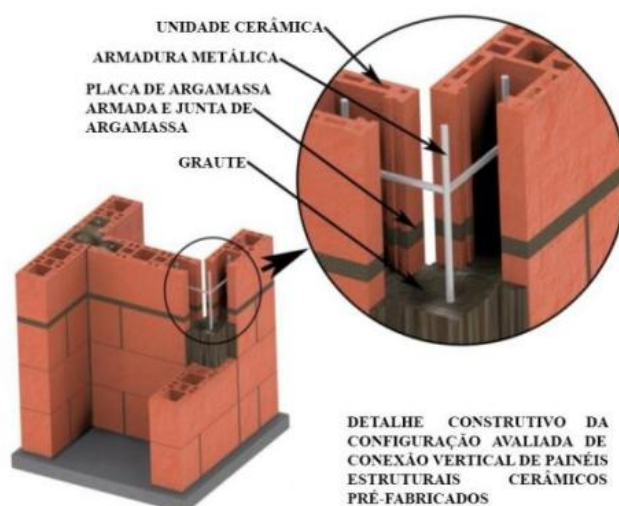


Fig. 57 - Modelo de ligação.

A análise experimental começou com a aplicação da carga de forma lenta e contínua no painel central do modelo, estudando-se assim o comportamento entre painéis para tensões verticais. Para forças de tração tanto o painel central como os painéis extremos apresentaram fissuras.

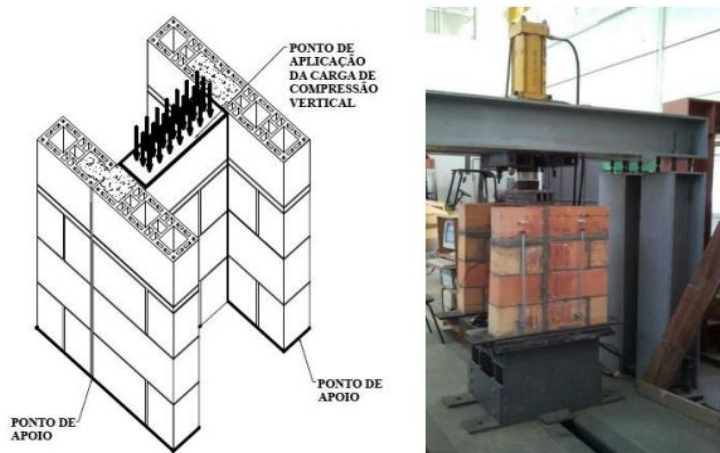


Fig. 58 - Ensaio do modelo de ligação.

O estudo permitiu concluir que:

- O modelo de ligação vertical avaliado contribui para a interação entre dois painéis de alvenaria prefabricados. Esta interação resulta no aumento da capacidade de carga da alvenaria resistente.
- Ao se adotarem resistências mecânicas maiores para a argamassa, o funcionamento conjunto desta com a unidade de alvenaria tem um ganho de resistência de compressão e flexão mínima, contribuindo para um comportamento frágil do conjunto. No entanto, a argamassa tem um papel significativo no desempenho da ligação, tendo uma influência maior que a armadura. Isto porque a área de contacto entre a argamassa e a unidade de alvenaria é maior, minimizando influências negativas da alta capacidade de retenção de água da argamassa.
- A variação do tipo de aço usado para a armadura contribui de forma mínima para alterações das parcelas de carga absorvidas por cada material.
- O modelo de ligação adotado pode atuar conjuntamente com os painéis prefabricados de alvenaria e contribuir para o aumento de capacidade de carga destes.

4.4. PRODUTIVIDADE E QUALIDADE

Esforços na tentativa de ganhos de produtividade no processo de assentamento de alvenarias têm vindo a ser feitos de diversas formas. Uma forma, já mencionada neste relatório, é criar sistemas de encaixe para as unidades de alvenaria, de forma a facilitar o processo de assentamento, obter um trabalho com mais qualidade e reduzir o uso de argamassa. Outras opções passam pelo desenvolvimento de equipamentos de manuseio e prensão das unidades ou pela utilização de argamassa cola em juntas de pequena espessura, sendo este um processo mais rápido.

4.4.1. CASA OLÉ [37]

No início dos anos 2000, o Brasil foi deparado com um constante crescimento do déficit habitacional, que segundo dados estatísticos cresceu de 7,2 para 7,9 milhões entre 2004 e 2007. No entanto a construção de casas próprias, em particular na faixa de rendas mais baixas, teve um aumento significativo. Entende-se por faixa de rendas mais baixas, o grupo de pessoas que recebem de um a

dois salários mínimos por mês. Tendo em base este conceito a percentagem de construções próprias entre 2001 e 2006 teve o seguinte crescimento:

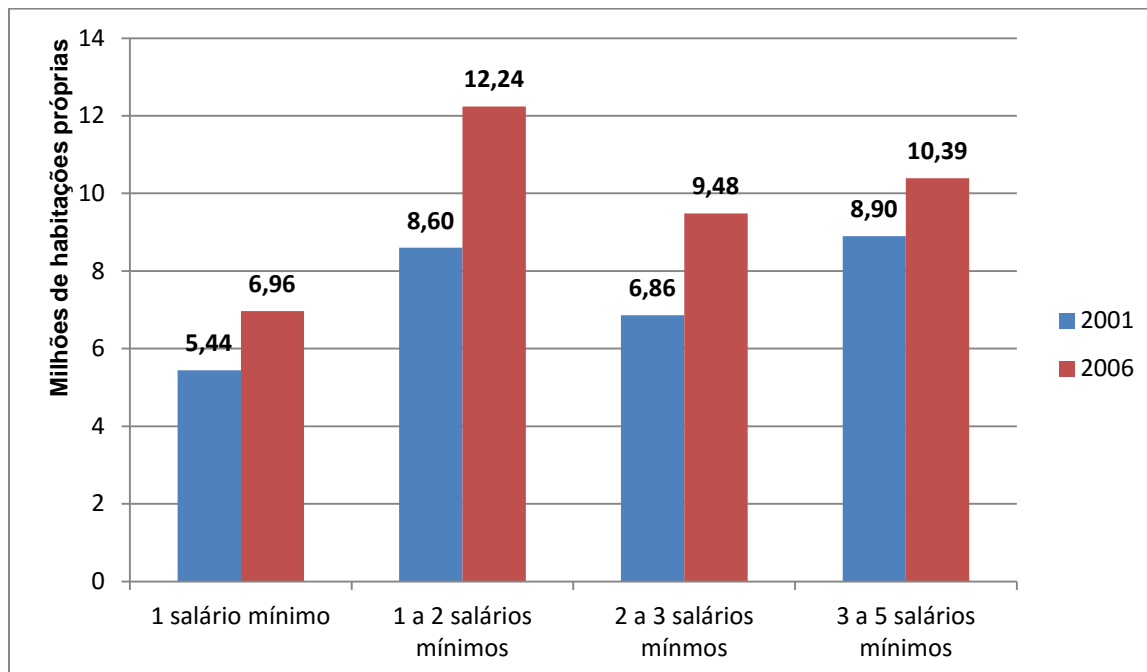


Gráfico 3 - Dados estatísticos do défice habitacional entre 2001 e 2006 para as diferentes classes económicas.

- Grupo de pessoas que recebe 1 salário mínimo por mês: crescimento de 16,43%;
- Grupo de pessoas que recebe entre 1 a 2 salários mínimos por mês: crescimento de 39,25%;
- Grupo de pessoas que recebe entre 2 a 3 salários mínimos por mês: crescimento de 28,25%;
- Grupo de pessoas que recebe entre 3 a 5 salários mínimos por mês: crescimento de 16,07%.

Deste modo foi possível verificar a importância do setor da construção, principalmente na construção a baixo custo.

Neste sentido em 2008 foi apresentado o projeto Casas Olé que tem como base a construção de edifícios habitacionais prefabricados de alvenaria como uma solução economicamente viável, alternativa à construção tradicional. O objetivo era a produção de sistemas de qualidade de custo reduzido a escala industrial. Portanto o fator tempo foi também uma variável importante a considerar no desenvolvimento da solução. Sendo a alvenaria uma solução popular na construção brasileira, a equipa projetista optou por não mudar o tipo de material já culturalmente aceite no Brasil tanto pelos utilizadores como pelas empresas construtoras. Outras alternativas de materiais de construção para a solução do problema não foram tão bem aceites por razões económicas e dificuldades técnicas que iam gerar durante o processo construtivo. Optou-se pelo sistema prefabricado em alternativa ao tradicional pois este apresentava pouca eficiência devido à baixa produtividade e baixo controlo da qualidade.

Apesar do desenvolvimento do projeto ter como objetivo a construção de habitações mais simples para a classe económica mais desfavorável, é possível aplicar este sistema como solução construtiva a diversos tipos de habitações.

Durante a fase de planeamento foram desenvolvidos três módulos de casas habitacionais térreas isoladas ou geminadas:

- Casa tipo 1 – 40,11 m²

- Casa tipo 2 – 38,64 m²
- Casa tipo 3 – 54,17 m²

O sistema construtivo baseia-se na produção de painéis de alvenaria cerâmica em fábrica com as instalações elétricas e hidráulicas já introduzidas nas paredes e o reboco já aplicado em todas as faces. No processo de produção as unidades de alvenaria cerâmicas e respetivo reforço, ou seja as armaduras, são colocados num molde na horizontal assim como as instalações anteriormente referidas. De seguida o molde é preenchido com a argamassa e depois de secar este é retirado. O painel está pronto a ser movimentado e transportado para a obra aquando a finalização do processo de cura. A produção diária prevista numa fábrica pequena é de 10 unidades habitacionais. Um aspeto de interesse do sistema Olé é o facto de este poder adotar o conceito “fábrica em estaleiro”, isto é, as paredes prefabricadas podem ser construídas horizontalmente no estaleiro e depois erguidas e colocadas no seu local. A capacidade itinerante da fábrica leva à redução de custos relacionados com o transporte e diminui o tempo de construção.



Fig. 59 - Processo de produção dos painéis.

Em estaleiro, os painéis são montados sobre blocos de fundações prefabricados e fixados entre si por ligações protegidas com recobrimento aplicado nas juntas. Depois é colocada a cobertura de telha cerâmica e estrutura em madeira e são feitos os pavimentos e restantes acabamentos finais, como pintura. A montagem dos painéis e construção completa de uma unidade de 40 m², incluindo acabamentos, pode ser feita em dois dias.



Fig. 60 - Processo de montagem dos painéis.

A casa Olé é uma solução à qual se aplicam as vantagens de um sistema prefabricado já referidas neste trabalho. No entanto, essas vantagens serão aplicadas a este caso específico:

- **Redução do tempo de construção**

É possível dividir a construção de uma unidade habitacional de alvenaria prefabricada em duas etapas: a etapa de produção e a etapa da montagem. Depois de ambos os processos terem sido descritos é possível fazer um planeamento de tarefas e respetivo cronograma. Como anteriormente referido, é possível produzir uma unidade em apenas um dia, no entanto considera-se que a entrega do material só possa ser feita no dia seguinte pois é preciso esperar pelo final do período de cura do painel para este poder ser movimentado. Desta forma estabeleceu-se um prazo de três dias de entrega. É importante também referir que é possível a simultaneidade de tarefas, uma vez que enquanto uns painéis estão a ser montados outros estão a ser fabricados. O cronograma de seguida apresentado sugere uma possível divisão das tarefas a realizar durante cada fase de acordo com a informação disponível.

	1º dia	2º dia	3º dia	4º dia
Fabrico dos painéis				
Receção dos painéis em obra e sua montagem				
Construção do pavimento				
Colocação da cobertura				
Pintura das paredes				
Acabamentos e limpeza				

Gráfico 4 - Cronograma de tarefas.

• Redução dos custos

A casa Olé é um sistema que reduz em mais de 29% os custos de construção relativamente a fundações, paredes, instalações e revestimentos. No entanto, os custos relativos à instalação da cobertura, do pavimento e acabamentos finais não se alteram, ou seja, são os mesmo que a construção em alvenaria tradicional.

A proposta do projeto apresenta a seguinte tabela de forma a comparar os custos do sistema de alvenaria tradicional e do sistema de alvenaria prefabricada. Note-se que os preços estão na moeda oficial brasileira, ou seja em reais R\$, devido ao projeto ter sido desenvolvido no Brasil. Contudo, o importante é perceber até que ponto a solução é economicamente viável e por isso o interesse está no valor percentual da redução dos custos. Por isso a tabela serve apenas como referência para se chegar a esta percentagem, que pode variar de país para país dado existirem diferenças nos preços de materiais, mão-de-obra, entre outros. Apesar disso, o foco é na redução de custos relativos à redução de desperdícios, perdas e erros de construção e na diminuição do material necessário para as fundações.

É importante também referir que a produção dos painéis prefabricados Olé é mais cara que a construção de uma parede através do sistema convencional, como consta na tabela 15. No entanto, como o sistema construtivo Olé não requer gastos relacionados com a aplicação de revestimentos e com a instalação de tubagens elétricas e hidráulicas em obra, o custo global da execução das paredes através deste método é quase duas vezes menor que o método de construção tradicional.

Tabela 15 - Comparação de custos do sistema tradicional e do sistema prefabricado. [37]

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	SISTEMA CONVENCIONAL				SISTEMA CONSTRUTIVO OLE					
	QTDE	UNID.	R\$/UNID.	R\$ TOTAL	QTDE	UNID.	R\$/UNID.	R\$ TOTAL		
MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	TOTAL DO GRUPO				619,24	TOTAL DO GRUPO				516,64
Aterro c/ compactação manual com aquisição	13,41	m³	35,77	479,68	13,41	m³	35,77	479,68		
Escavação manual - campo aberto	9,48	m³	14,26	135,18	2,59	m³	14,26	36,96		
Aterro c/ compactação manual sem aquisição	0,53	m³	8,27	4,38				0,00		
FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	TOTAL DO GRUPO				1.582,27	TOTAL DO GRUPO				356,78
Alvenaria de embasamento c/ pedra argamassada	8,62	m³	176,43	1.520,83				0,00		
Concreto não estrutural c/ preparo manual	0,31	m³	198,21	61,45				0,00		
Fundações do sistema construtivo Olé				0,00	1,80	m³	198,21	356,78		
PAREDES E PAINÉIS	TOTAL DO GRUPO				1.924,33	TOTAL DO GRUPO				2.993,10
Alvenaria tijolo cer. fur. c/ argamassa mista (10 cm)	90,51	m²	15,00	1.357,65				0,00		
Alvenaria tijolo cer. fur. c/ argamassa mista (20 cm)	18,28	m²	31,00	566,68				0,00		
Painéis pré fabricados Olé				0,00	90,70	m²	33,00	2.993,10		
REVESTIMENTOS	TOTAL DO GRUPO				2.586,41	TOTAL DO GRUPO				0,00
Chapisco c/ argamassa de cimento e areia	184,48	m²	2,65	488,87				0,00		
Reboco cimento e areia grossa	184,48	m²	11,37	2.097,54				0,00		
EXECUÇÃO DE TUBULAÇÃO PARA INSTAÇÕES	TOTAL DO GRUPO				98,37	TOTAL DO GRUPO				0,00
Rasgo em parede de alvenaria para tubulações	20,24	h	4,86	98,37				0,00		
SERVIÇOS DIVERSOS	TOTAL DO GRUPO				70,00	TOTAL DO GRUPO				1.000,00
Retirada do entulho dos rasgos das paredes	1,00	Vb	70,00	70,00				0,00		
Montagem de painéis Olé (Terceirizado)				0,00	1,00	Vb	500,00	500,00		
Muck para execução dos painéis				0,00	1,00	Vb	500,00	500,00		
VALOR TOTAL DOS ORÇAMENTOS	SIST. CONVENCIONAL				6.880,62	SISTEMA OLE				4.866,52

• Aumento da produtividade

Relativamente à produtividade, vantagem essencial da prefabricação, é feita mais uma vez uma comparação com o sistema tradicional de construção em alvenaria, apresentada na tabela seguinte.

Tabela 16 - Comparação do índice de produtividade do sistema tradicional e do sistema prefabricado. [37]

Área construída total da casa	40,11	m ²	Para ambos os sistemas	
CÁLCULO DA MÃO-DE OBRA NECESSÁRIA			CÁLCULO DO ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE	
TIPO DE SISTEMA CONSTRUTIVO UTILIZADO	GASTO EM HORAS			
	PEDREIRO	SERVENTE	PEDREIRO	SERVENTE
Sistema construtivo em alvenaria tradicional	281	480	0,1427	0,0836
Sistema construtivo Olé	20	76	2,0055	0,5278

O cálculo do índice de produtividade apresentado na tabela foi calculado segundo a fórmula:

$$\Delta P = Q/T \quad (4.4)$$

sendo Q a quantidade de trabalho realizado no período de tempo T. Segundo os dados do projeto Casas Olé, para construir uma casa de 40,11 m² em alvenaria tradicional um pedreiro precisa de 281 horas de trabalho e um servente necessita de 480 horas. [37] Aplicando a fórmula matemática anterior a produtividade de um pedreiro e de um servente é, respetivamente:

- Pedreiro - $\Delta P = 40,11/281 = 0.1427 \text{ m}^2/h$
- Servente - $\Delta P = 40,11/480 = 0.0836 \text{ m}^2/h$

No caso do sistema construtivo Olé, o pedreiro precisa de 20 horas de trabalho e o servente necessita de 76 horas. Assim a produtividade de cada trabalhador é:

- Pedreiro - $\Delta P = 40,11/20 = 2.0055 \text{ m}^2/h$
- Servente - $\Delta P = 40,11/76 = 0.5278 \text{ m}^2/h$

Com a análise dos valores obtidos é possível perceber o quão útil em termos de produtividade pode o sistema de construção prefabricada ser, pois um pedreiro e um servente são respetivamente catorze e seis vezes mais produtivos. E “quanto mais alto for o índice de produtividade dos operários, menores serão os custos operacionais, principalmente os indiretos”. [37]

- **Aumento da qualidade**

O sistema possibilita um maior controlo da qualidade gerando um produto final superior ao tradicional. A qualidade é garantida mesmo na produção industrial dos painéis devido a esse rigoroso controlo.

- **Sistema estruturalmente viável**

A estrutura da casa Olé faz uso da prefabricação de alvenaria resistente armada, que é apoiada em fundações de betão e suportam uma estrutura de madeira da cobertura. Foram realizados testes de resistência e durabilidade e os resultados obtidos cumpriam os mínimos requeridos na norma. Por isso é possível instalar sistemas resistentes sem recurso ao betão estrutural para paredes ou outro material adequados para uso, neste caso habitacional.

- **Sistema ecologicamente correto**

A aplicação dos sistemas prefabricados Olé é possível a redução de perdas e desperdícios, não sendo criados resíduos que contribuem para a poluição gerada pela construção. O fato de os painéis serem produzidos num só local leva a um melhor controlo ambiental sobre os processos construtivos.

O estudo desta solução construtiva permite concluir que a alvenaria prefabricada “é um sistema inovador, moderno, que aumenta a produtividade, reduz os custos produtivos e reduz os desperdícios, sendo, portanto, social e ambientalmente correto”. [\[37\]](#)

5

CASO DE ESTUDO: APLICAÇÃO PRÁTICA

5.1. NOTA PRÉVIA

Neste capítulo é apresentado um caso de estudo de uma habitação familiar de tipologia T2, representada na fig. 60, de modo a se avaliar a possibilidade de utilizar alvenaria prefabricada resistente como solução estrutural.



Fig. 61 - Caso de estudo: Habitação familiar T2. [38]

5.2. APRESENTAÇÃO DO PROJETO

A fig. 61 representa a planta da habitação T2 em estudo onde será utilizada alvenaria prefabricada. A moradia térrea de 46,86 m² de área consiste em dois quartos com aproximadamente 9,20 m² cada, uma cozinha do estilo americana conjugada com a sala com uma área conjunta de 16,66 m², um quarto de banho com 2,85 m² e uma área de serviço de 4,49 m². O pé-direito considerado no projeto é de 3 m, a altura das portas é de 2,10 m e a altura das janelas é de 1,10 m. Todas as paredes terão função resistente, sendo a espessura considerada para as paredes exteriores de 0,35 m, conferindo resistência estrutural e térmica, e para as paredes interiores de 0,25 m.



Fig. 62 – Planta da habitação T2. [38]

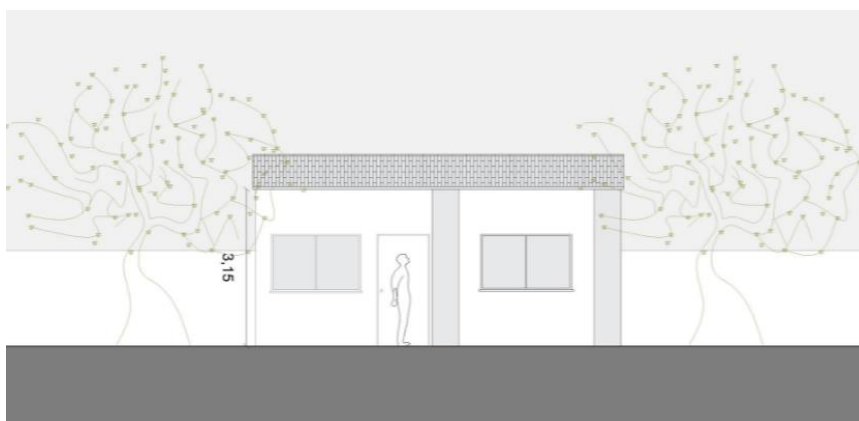


Fig. 63 - Alçado principal do projeto.

5.3. DEFINIÇÃO DOS PAINÉIS

Como o projeto prevê a utilização de paredes resistentes exteriores e interiores, pressupõe-se a eliminação de praticamente todas as vigas e pilares. [20] Deste modo, a capacidade resistente da alvenaria terá que ser superior à solicitação de cargas verticais, nomeadamente da cobertura, de cargas dinâmicas, como o vento e sismo, e ainda terá que suportar o seu peso próprio. Para além disso, é necessário ter especial atenção a cargas que possam ser causadas pelas operações de transporte e montagem, principalmente nos momentos de içamento dos painéis. Assim os painéis e ligações terão que ser projetados para todos os esforços provenientes das cargas referidas.

Sabe-se que para que o uso da prefabricação seja vantajoso para a obra, a modulação é um aspeto importante principalmente em termos económicos. Ou seja, a solução dimensional do painel tem que visar a sua máxima aplicação na estrutura de modo a se otimizar o processo de produção. Tenha-se em conta que a estrutura apresentada como exemplo não foi pensada para fazer uso de painéis de alvenaria prefabricados, de modo que a solução encontrada para as dimensões destes não será a desejável para um projeto deste tipo. Por isso foram feitas alterações à planta original de maneira a melhor se adaptar

o caso em estudo à situação prefabricada, como se expõe na figura 63. As modificações feitas basearam-se na alteração das dimensões das paredes e do posicionamento de aberturas para portas e janelas.



Fig. 64 - Planta estrutural da habitação.

A figura 64 representa uma proposta de divisão das paredes da estrutura em 13 painéis.

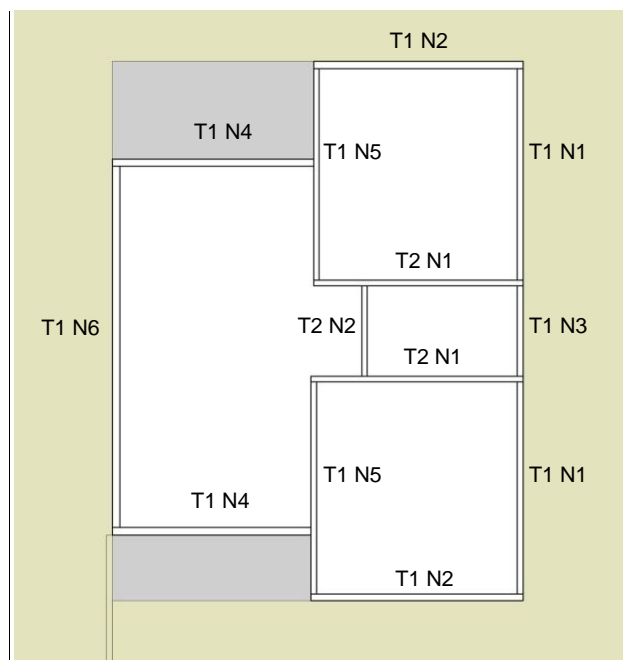


Fig. 65 - Planta com os painéis instalados.

Para além do interesse em maximizar o uso do mesmo tipo de painel, a escolha das dimensões deste elemento teve como base a ideia de que menos painéis com maiores dimensões resultam em menos ligações entre estes, podendo representar um ponto positivo. No entanto, é preciso ter em atenção que dimensões maiores também significam um maior peso do painel, o que pode dificultar as operações de transporte e de montagem. [20]

Desta forma, foram estabelecidos dois painéis tipo em função da espessura da parede, isto é, o painel tipo de fachada terá uma espessura de 0,35 m e o painel tipo interior terá 0,25 m – fig. 65. A largura de cada painel pode variar entre 1,40 m e 5,55 m. Apesar do pé-direito do projeto ser de 3,00 m, cada painel terá uma altura de 3,15 m, considerando 15 cm de espaços para revestimentos.

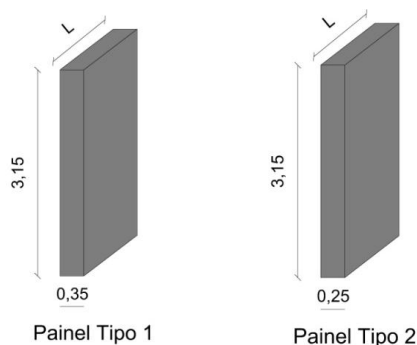


Fig. 66 – Esquema dos painéis tipo.

De seguida são apresentados esquemas dos painéis a utilizar na obra bem como um quadro resumo do número de painéis necessários de cada tipo. Note-se que alguns painéis prevêem-se aberturas para a instalação de portas e janelas e por isso a sua resistência terá que ser superior, sendo possível o recurso a armadura para reforçar as zonas críticas.

Tabela 17 - Quadro resumo: Lista de painéis.

Tipo de Painel	Número do Painel	Dimensões do Painel	Número de Painéis	Observações
T1	N1	3,20m x 3,15m x 0,35m	2	-
T1	N2	3,65m x 3,15m x 0,35m	2	Para instalação de janela
T1	N3	1,40m x 3,15m x 0,35m	1	-
T1	N4	3m x 3,15m x 0,35m	2	Para instalação de porta
T1	N5	3,20m x 3,15m x 0,35m	2	Para instalação de porta
T1	N6	5,5m x 3,15m x 0,35m	1	-
T2	N1	3,65m x 3,15m x 0,25m	2	-
T2	N2	1,40m x 3,15m x 0,25m	1	Para instalação de porta

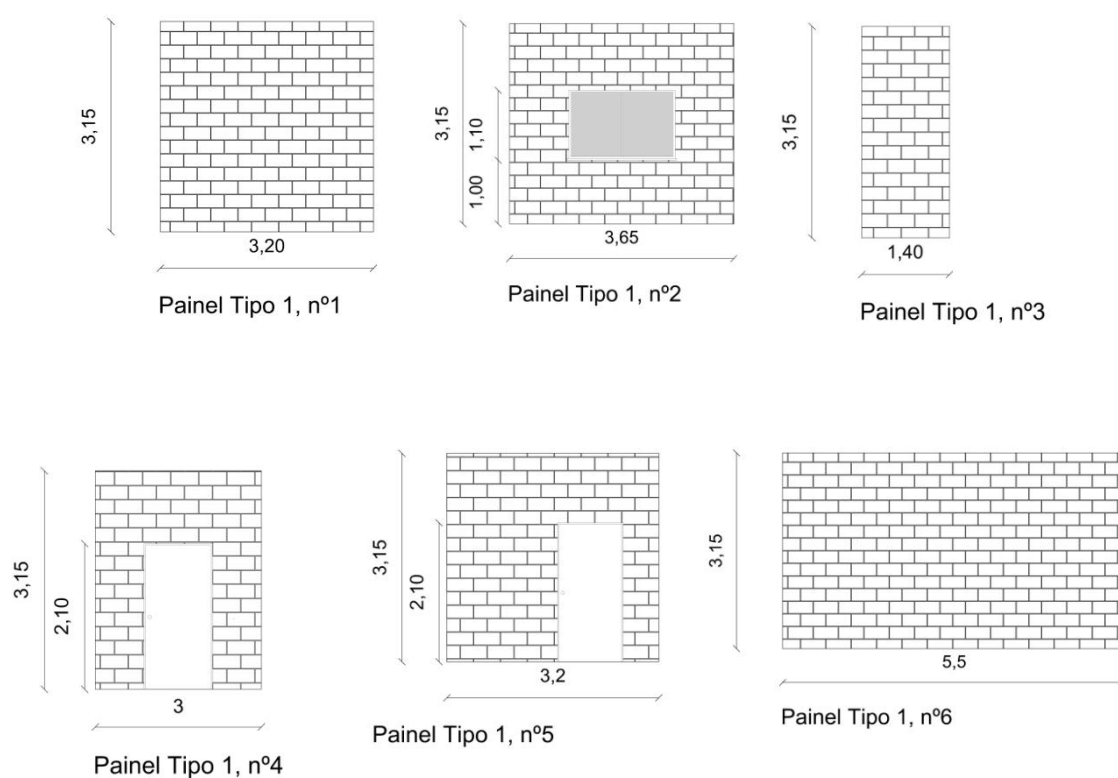


Fig. 67 – Esquema dos Painéis Tipo 1.

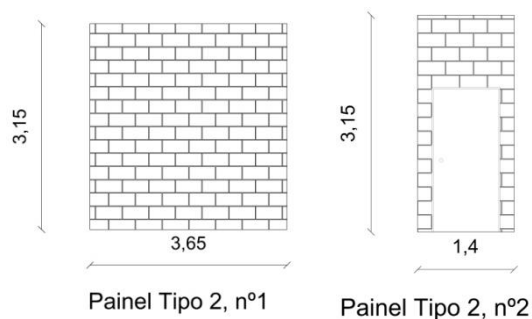


Fig. 68 - Esquema dos Painéis Tipo 2.

Salienta-se que esta é apenas uma das muitas soluções possíveis e que por isso poderão existir diferentes opiniões. Para além disso, a escolha dos materiais a utilizar, como por exemplo o tipo de unidade de alvenaria e revestimentos dos painéis, podem resultar em alterações nas dimensões dos elementos definidos.

5.4. PROCESSO CONSTRUTIVO

Tal como no exemplo da Casa Olé, antes da montagem dos painéis é necessário proceder-se aos trabalhos da fundação. De seguida são marcadas as posições de cada painel e estes são assentes numa

camada de argamassa e ancorados até se obter a resistência suficiente de modo a se garantir a estabilidade da estrutura.

As ligações entre painéis são garantidas por armaduras horizontais colocadas em algumas camadas de argamassa entre fiadas e amarradas a varões de aço verticais, garantido assim resistência mecânica. Estes varões verticais vão também permitir a colocação de ganchos para transporte. [20]

De seguida é colocada a estrutura da cobertura e são realizados os acabamentos finais de acordo com o projeto.

5.5. ANÁLISE ECONÓMICA

Com o objetivo de melhor se perceber a vantagem económica que o uso de painéis prefabricados em alvenaria confere à obra, é apresentada uma análise comparativa entre o sistema construtivo tradicional e o sistema construtivo prefabricado.

Como referência para o cálculo dos custos da construção tradicional foram utilizadas as tabelas de preços da rede de lojas Leroy Merlin e da empresa Weber Saint Gobain. [39] [40] Para a construção das paredes exteriores e interiores foram escolhidos tijolos de duas diferentes espessuras, uma argamassa de assentamento e dois diferentes tipos de reboco.

Para o cálculo dos custos da construção prefabricada, optou-se pelo sistema construtivo Olé como modelo para a produção dos painéis prefabricados e por isso o custo por m² de cada unidade é o mencionado no projeto Olé, convertido para a moeda europeia, €. [37]

Tabela 18 - Comparação de custos do sistema tradicional e do sistema prefabricado.

Descrição	Sistema Construtivo Tradicional				Sistema Construtivo Olé			
	Qtde	Unidade	€/Unidade	€ Total	Qtde	Unidade	€/Unidade	€ Total
Paredes e Painéis	Total do grupo			1354,32	Total do grupo			1182,20
Alvenaria de tijolo tipo 1	1938		0,51	988,38				
Alvenaria de tijolo tipo 2	306		0,19	58,14				
Argamassa de assentamento	114		2,70	307,80				
Painéis prefabricados Olé					131,355	m ²	9	1182,20
Revestimentos	Total do grupo			517,80	Total do grupo			
Reboco exterior	104		4,60	478,40				
Reboco interior	4		9,85	39,40				
Total	Sistema Convencional			1872,12	Sistema Construtivo Olé			1182,20

A análise feita permite concluir que o sistema construtivo prefabricado torna a obra mais económica, pois existe uma redução de custos de aproximadamente 37% relativamente à construção das paredes *in situ*. É de referir que um dos motivos desta redução é que a prefabricação permite um maior controlo na produção dos painéis em fábrica e consequentemente dos desperdícios de materiais produzidos, sendo estas perdas reduzidas significativamente. Existe por isso uma redução de custos da obra.

5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado é apenas uma tentativa de aplicação de uma solução de alvenaria prefabricada a uma estrutura que não foi desenhada para tal. Por isso, para se garantir a viabilidade deste projeto era necessário um estudo mais aprofundado e pormenorizado, especialmente sobre as ligações entre os painéis. Isto porque, como já referido, estas zonas são importantes para assegurar a resistência e estabilidade de todo o edifício. Para além disso, para corretamente avaliar o comportamento estrutural, térmico e acústico era necessário ter em conta o tipo de solução de parede utilizada (parede simples, parede dupla, revestimentos, ...).

É possível verificar que o uso de painéis prefabricados tem interesse a níveis principalmente económicos, de produtividade e de qualidade. Estes dois últimos fatores, que em geral são maiores, tornam este tipo de construção mais vantajoso comparativamente ao método tradicional *in situ* pois todos os trabalhos de produção podem ser transferidos para a fábrica, que se equipada com sistemas automatizados, para além de reduzir substancialmente o custo de produção reduz também o número de operários necessários. Assim, é possível obter um estaleiro mais organizado, limpo e seguro, sendo menor a probabilidade de ocorrência de erros e acidentes.

6

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho foram analisados vários aspetos relacionados com o tema da alvenaria prefabricada, focando o estudo nas vantagens de produtividade e qualidade que esta confere à construção.

Assim é possível concluir que:

- A alvenaria é uma solução construtiva com vantagens competitivas das quais se pode tirar proveito, quando ao longo da fase de projeto se tomam boas decisões e já em obra os trabalhos são corretamente realizados. Neste último caso a inspeção rigorosa e frequente é um método de prevenção. Estes são aspetos importantes a ter em consideração pois são fatores influenciadores na qualidade, na durabilidade e no custo-benefício dos sistemas de alvenaria.
- É imprescindível a comunicação entre os diversos intervenientes na construção de um edifício, pois a boa coordenação entre as partes leva a menos erros de projeto, menos erros de execução, logo maior qualidade do produto.
- Sendo verdade o facto de o Ser Humano passar cerca de 90% do seu tempo em espaços fechados, seja em casa ou no trabalho, então o conceito multi-conforto é cada vez mais importante. O edifício tem que estar apto a responder a exigências térmicas, acústicas, visuais, económicas e de qualidade de ar, de modo a proporcionar ao seu utilizador bem-estar e saúde. É por isso indispensável a implementação de novas soluções construtivas na indústria que respondam às condições dos utentes, melhorando simultaneamente o processo construtivo, isto é, aumentando a rapidez de execução e a qualidade do produto.
- A prefabricação é, de um modo geral, a industrialização do processo de produção e de construção com capacidade para melhorar a eficiência do setor da construção e combater a baixa produtividade normalmente associadas a trabalhos de produção e montagem em estaleiro. É uma solução que, para além de aumentar a segurança das operações, reduz custos e promove a sustentabilidade.
- A alvenaria prefabricada é uma solução construtiva que confere inúmeras vantagens à construção. Um ciclo produtivo facilita o controlo de qualidade e promove o efeito de aprendizagem, reduzindo a probabilidade de defeitos e erros no produto. Existe um melhor controlo da qualidade no assentamento dos blocos de alvenaria e a quantidade de argamassa necessária é menor, ou seja, menos desperdício e um estaleiro mais limpo e organizado. A necessidade de andaimes é também menor, reduzindo assim o custo e espaço da obra. O risco de

ocorrência acidentes é menor. Isto porque o número de horas de trabalho é menor, o nível de profissionalismo é maior assim como a eficácia dos equipamentos, melhorando assim as condições de segurança dos trabalhadores. Torna também a construção rápida e não é condicionada pelas condições meteorológicas.

- A combinação da robótica com a prefabricação é um conceito inovador que garante um produto ou construção com mais qualidade em menos tempo.
- As normas e requisitos atualmente existentes ainda não têm disposições específicas para alvenarias prefabricadas. Torna-se por isso necessário investir na investigação e no desenvolvimento de projetos que façam uso da alvenaria prefabricada, melhorando a informação disponível, especialmente sobre o dimensionamento e comportamento desta solução.

É importante que a investigação na área de engenharia civil tenha como meta, não só a qualidade do elemento, mas o desenvolvimento de soluções construtivas de qualidade.

“Quando a educação não tem fronteiras o sucesso também não!” [\[41\]](#)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Beall, Christine. *Masonry Design and Detailing for Architects, Engineers, and Contractors*. New York: McGraw Hill, 1997. ISBN 0-07-005844-X.
2. Sousa, Hipólito de. *Construções em Alvenaria Apontamentos*. FEUP, 2003.
3. *V Recenseamento Geral da Habitação: CENSOS 2011* [online]. Instituto Nacional de Estatística, [14.04.2016]. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE.
4. Paredes de Alvenaria. In *Processos Gerais de Construção II*. Tomar: Escola Superior de Tecnologia de Tomar, vol. Curso de Engenharia Civil.
5. IPQ. *Eurocódigo 6 : projeto de estruturas de alvenaria : NP EN 1996-1-1: 2005+A1: 2015. Parte 1-1, regras gerais para estruturas de alvenaria armada e não armada* [online]. Caparica: IPQ, 2015 [10.03.2016]. http://aleph.fe.up.pt/F/?func=direct&doc_number=000168275.
6. Lourenço, Paulo B. *Possibilidades Actuais na Utilização da Alvenaria Estrutural*. Em Seminário Paredes de Alvenaria: Inovação e Possibilidades Actuais. Lisboa, 2007. Available from: <http://hdl.handle.net/1822/9142>
7. Lourenço, Paulo B. *Dimensionamento de Alvenarias Estruturais: Relatório 99-DEC/E-7*. Departamento de Engenharia Civil: Universidade do Minho, 1999.
8. Gouveia, João P., Melo, Fontes de e Lourenço, Paulo B. *Alvenaria Estrutural: Aplicação a um Caso de Estudo*. Em JPEE 2006 - 4as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas. LNEC, Lisboa, Portugal, 2006. Available from: <http://hdl.handle.net/1822/6441>
9. Gouveia, João P., Lourenço, Paulo B. e Vasconcelos, Graça. *Soluções Construtivas em Alvenaria*. Em Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional. Universidade de Coimbra, 2007.
10. Marinoski, Deivis. Aula 2: Alvenarias: Conceitos, alvenaria de vedação, processo executivo. In. UFSC Florianópolis, 2011.
11. The Brick Industry Association. *Technical Notes on Brick Construction - Prefabricated Brick Masonry*. Reston: The Brick Industry Association, 2001.
12. Lourenço, Paulo B. *Alvenaria Armada: Panorama Internacional e Dimensionamento para Fechamento de Grandes Espaços*. Em Workshop Internacional de Alvenaria. Pampulha - Belo Horizonte, 2008. U.F.D.M. GERAIS ed. Universidade Federal de Minas Gerais. Available from: <http://hdl.handle.net/1822/17270>
13. Gouveia, João P. e Lourenço, Paulo B. *Masonry Shear Walls Subjected to Cyclic Loading: Influence Of Confinement and Horizontal Reinforcement*. Em Tenth North American Masonry Conference. USA, 2007.
14. Vasconcelos, Graça, et al. *Alvenaria Armada: Soluções Inovadoras em Portugal*. Em Seminário Paredes de Alvenaria: Inovação e Possibilidades Actuais. Lisboa, 2007. Available from: <http://hdl.handle.net/1822/9164>
15. *Regulamento (Ue) N.O 305/2011 Do Parlamento Europeu E Do Conselho*. Jornal Oficial da União Europeia, 2011.
16. Rodrigues, Rui Calejo e Renda, Jorge. *Intervenções em Edifícios em Fase de Utilização - Informação de Suporte a um Sistema de Apoio à Decisão (DSS)*. Em 2º Forum Internacional de Gestão da Construção - GESCON 2011. FEUP, Porto, 2011. Secção de Construções Cíveis - FEUP.
17. *Exigências Humanas no Âmbito da Habitação* [online]. [02.05.2016]. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779578828357/EXIGENCIAS-FUNCIONAIS.pdf>.
18. Couto, Arminda Bastos e Couto, João Pedro. *Vantagens Produtivas e Ambientais da Pré-fabricação*. Em Congresso Engenharia'07 Inovação & Desenvolvimento. Covilhã, Portugal, 2007. Universidade do Minho. Available from: <http://hdl.handle.net/1822/8520>
19. Moreira, Daniel Ferraz. *Análise da Produtividade na Execução Associada A Diferentes Sistemas de Alvenaria Medidas Tendentes à Sua Melhoria*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.

20. Araújo, Catarina Rego de. *Sistemas de Prefabricação de Paredes em Alvenaria*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.
21. Panarese, William C., Kosmatka, Steven H. e Randall, Frank Alfred. *Concrete Masonry Handbook for Architects, Engineers, Builders*. Portland Cement Association, 1991.
22. Gramazio Kohler Architects. *Gramazio Kohler Research* [online]. [10.05.2016]. <http://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/e/forschung/152.html>.
23. Ballast, David Kent. *Handbook of Construction Tolerances*. John Wiley & Sons, Inc., 2007.
24. Brickability. *Fabricated Brickwork* [online]. [10.06.2016]. <http://www.brickability.co.uk/products/fabricated-brickwork.htm>.
25. Kubica, Jan. Introduction and Basic Information. In *Masonry Structures*. Poland: Politechnika Śląska, 2015.
26. IPQ. *Especificação de argamassas para alvenarias : NP EN 998-2: 2013. Parte 2, argamassas de assentamento* [online]. Caparica: IPQ, 2013 [11.03.2016]. http://aleph.fe.up.pt/F/?func=direct&doc_number=000155877.
27. Almeida, José Luís Mesquita dos Santos Lima de. *Argamassas Tradicionais e Industriais de Alvenaria em Edifícios*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
28. Sousa, Hipólito de. Estudos Avançados em Reabilitação do Património Edificado: Apontamentos. In. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
29. Weber Saint-Gobain. *Manual de Construção Paredes Eficientes [catálogo]*. 2015.
30. The Thomas 1970 Trust. *System for Lifting and Handling Panels* Thomas, Paul M. Patent application number: date: 1973.
31. Redbloc Systems. *Prefab Panel System* [online]. [01.05.2016]. <http://www.redblocsystems.com/en/redblocsystems/home.html>.
32. Cesar, Cristina Guimarães. *Desempenho Estrutural de Painéis Pré-Fabricados com Blocos Cerâmicos*. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
33. Mohamad, Gihad, Lourenço, Paulo Brandão e Roman, Humberto Ramos. *Juntas Verticais: Influência no Comportamento Mecânico da Alvenaria Estrutural*. Prisma. 2008, [16.05.2016]. <http://hdl.handle.net/1822/17201>.
34. Mohamad, Gihad, Lourenço, Paulo Brandão e Roman, Humberto Ramos. *Influência da Junta Vertical no Comportamento Mecânico da Alvenaria de Blocos de Concreto*. Em Encontro Nacional Betão Estrutural 2008. Guimarães, 2008. Available from: <http://hdl.handle.net/1822/17646>
35. Poças, João Pedro Marques. *Estudo do Comportamento Térmico e Mecânico em Paredes de Alvenaria*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
36. Acker, Arnold Van. Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto. In., 2002.
37. CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. *Casas Olé -Fabricação e Montagem de Habitações, Através De Painéis Pré-Moldados de Alvenaria com Tijolo Cerâmico E Argamassa Vibrada*. Fortaleza: CBIC, 2008.
38. Soprojetos. *Projetos e Plantas de Casas Prontas para Construir* [online]. [20.05.2016]. <https://www.soprojetos.com.br/projetos-de-casas/Projeto-de-Casa-Popular-Economica-Cod-101>.
39. Leroy Merlin. [online]. [25.08.2016]. <http://www.leroymerlin.pt/Site/Home.aspx>.
40. Orçamentos na Construção Civil. [online]. [25.08.2016]. <http://orcamentos.eu/tabela-de-precos-weber-argamassas-tecnicas/>.
41. Universidade Europeia. [online]. [15.06.2016]. <https://www.europeia.pt/>.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. *Masonry Designers' Guide Based on Building Code Requirements for Masonry Structures ... and Specifications for Masonry Structures*. Boulder, Colorado: The Masonry Society, 2001. ISBN 1-929081-12-X.
2. *Enclosure Masonry Wall Systems Worldwide Typical masonry wall Enclosures in Belgium , Brazil, China, France, Germany, Greece, India, Italy, Nordic Countries, Poland, Portugal, the Netherlands and U.S.A.* London [etc.]: Taylor & Francis, 2007. ISBN 978-0-415-42577-3.
3. Barros, José Gabriel Brandão. *Sistemas Estruturais em Alvenaria à Base de Blocos De Betão Sem Argamassa*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
4. César, Cristina Guimarães e Roman, Humberto Ramos. Desenvolvimento de um Processo Construtivo racionalizado: painéis Pré-fabricados com Blocos Cerâmicos. In *Coletânea Habitar - vol. 6 - Inovação Tecnológica na Construção Habitacional*.
5. Chaya, Nadim Youssef. *Prefabricated Concrete Masonry Panels*. Concordia University, 1979 [18.05.2016]. <http://spectrum.library.concordia.ca/3973/1/MK43208.pdf>.
6. Construções, De Milito - Projetos e. *Alvenaria* [online]. [11.04.2016]. <http://demilito.com.br/4-alvenaria-rev.pdf>.
7. Costa, Joana Almeida. *Construção Prefabricada – Análise da Utilização Da Prefabricação nas Várias Etapas do Processo Construtivo*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
8. Cozza, Eric, et al. *Inovação em Construção Civil* [online]. São Paulo: UNIEMP Inovação, 2006 [03.04.2016]. <http://www.uniemp.org.br/livros/inovacao-na-construcao-civil/Livro-inovacao-na-construcao-civil.pdf>.
9. Dias, António Baio. Uma Breve Retrospectiva de Soluções de Paredes de elementos Cerâmicos. In P.B.L.E. AL. *Paredes divisórias: Passado, Presente e Futuro*. Coimbra.
10. Drysdale, Robert G., Hamid, Ahmad A. e Baker, Lawrie R. *Masonry Structures Behavior and Design*. Boulder, Colorado: The Masonry Society, 1999. ISBN 1-929081-01-4.
11. Gascoigne, Bamber. *History World* [online]. [09.03]. <http://www.historyworld.net/wrldhis/PlainTextHistories.asp?historyid=ab27>.
12. Holland, Dr Graham e Smith, Dr Peter. *Design in Brickwork* [online]. [20.05.16]. <http://faculty.arch.usyd.edu.au/pcbwb/brickwork-design/prefabricated/index.html>.
13. Jr., Prof. José de Almendra Freitas. *Construção Civil II: Alvenaria Estrutural* [online]. Brasil: Universidade Federal do Paraná, 2013 [16.04.2016]. http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/70/TC025_Alvenaria_estrutural_A_x.pdf.
14. Kreh, Richard. *Building with Masonry*. Newtown: The Taunton Press, Inc., 1998. ISBN 1-56158-336-7.
15. Manzano, Reginaldo de Matos, Roman, Humberto Ramos e Gómez, Luis Alberto. *Análise do comportamento de conexão vertical de painéis estruturais cerâmicos pré-fabricados*. Porto Alegre: 2005. [viewed 10.06.2016]. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212013000100004

16. Morais, António José. *Arquitectura em Alvenaria Estrutural Método construtivo - Vantagens Térmicas e Acústicas*. [Lisboa]: Ecosoluções, 1998.
17. Mosele, F., et al. *Developing Innovative Systems for Reinforced Masonry Walls*. Em 7th british masonry conference-Developing Innovative Systems, 2006. Available from: <http://hdl.handle.net/1822/6553>
18. Santos, Fernando da Rocha Pereira dos. *Alvenarias em Edifícios Inventariação das Soluções utilizadas e Proposta de um Novo Sistema*. Porto: [s.n.], 1998.
19. Silva, Marta. O Regulamento Produtos da Construção e a Importância da Conformidade para a Circulação dos Produtos no Espaço Europeu. In. Coimbra: CTCV, 2013.
20. Soares, Carlos Guedes. *Probabilistic Methods for Structural Design*. 1997.
21. Solutions, Masonry. [online]. [10.06.2016]. <http://www.masonrysolutions.co.uk/>.
22. William D. Palmer, Jr. *The Power of Prefabricated Brick Panels*. The Aberdeen Group. 1999, [23.04.2016]. http://www.masonryconstruction.com/how-to/construction/the-power-of-prefabricated-brick-panels_o.

ANEXO A.1

PATENTE – SYSTEM FOR LIFTING AND HANDLING PANELS

[54] **SYSTEM FOR LIFTING AND HANDLING PANELS**

2,858,031 10/1958 Garmon 214/1 H
3,186,570 6/1965 Bunnell 248/354 R X

[75] Inventor: **Paul M. Thomas**, Paradise Valley, Ariz.

FOREIGN PATENTS OR APPLICATIONS

[73] Assignee: **The Thomas 1970 Trust**, Phoenix, Ariz.

7,950 2/1936 France 214/1 H

[22] Filed: **May 18, 1972**

Primary Examiner—Gerald M. Forlenza

[21] Appl. No.: **254,662**

Assistant Examiner—Frank E. Werner

Attorney—Edwin M. Luedeka et al.

[52] U.S. Cl. 214/1 H, 52/173, 52/750, 294/74

[51] Int. Cl. E04g 21/02

[58] Field of Search 214/1 SW, 1 H; 224/50, 51, 49; 294/74; 52/173, 750; 248/354 R, 354 P

[57]

ABSTRACT

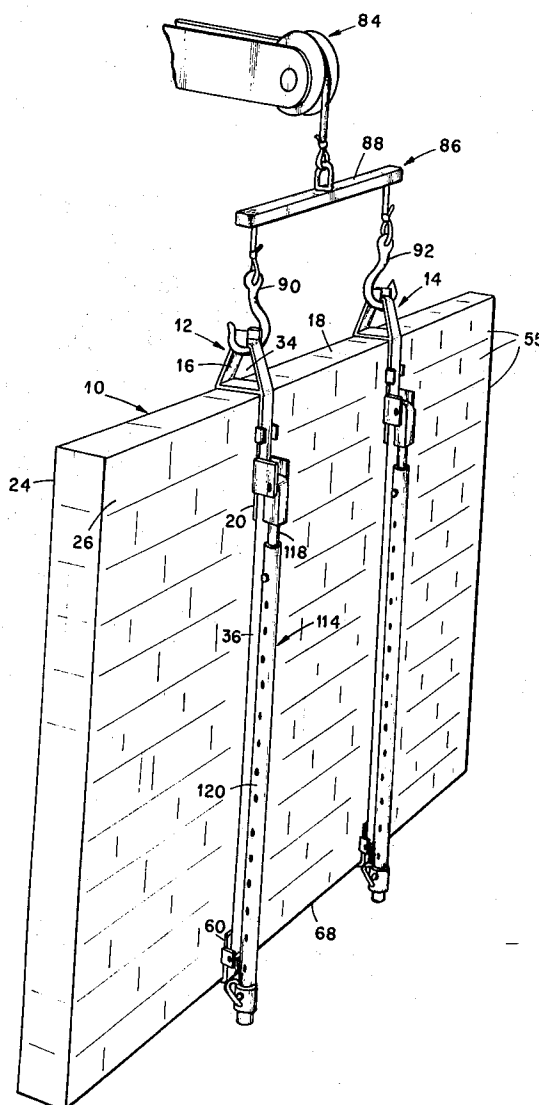
A system for handling a panel including means releasably securing a panel for lifting and handling and means attachable to the first means for aligning the panel in an upright position during installation of the panel.

References Cited

UNITED STATES PATENTS

2,792,252 5/1957 Ernst 294/74

6 Claims, 6 Drawing Figures



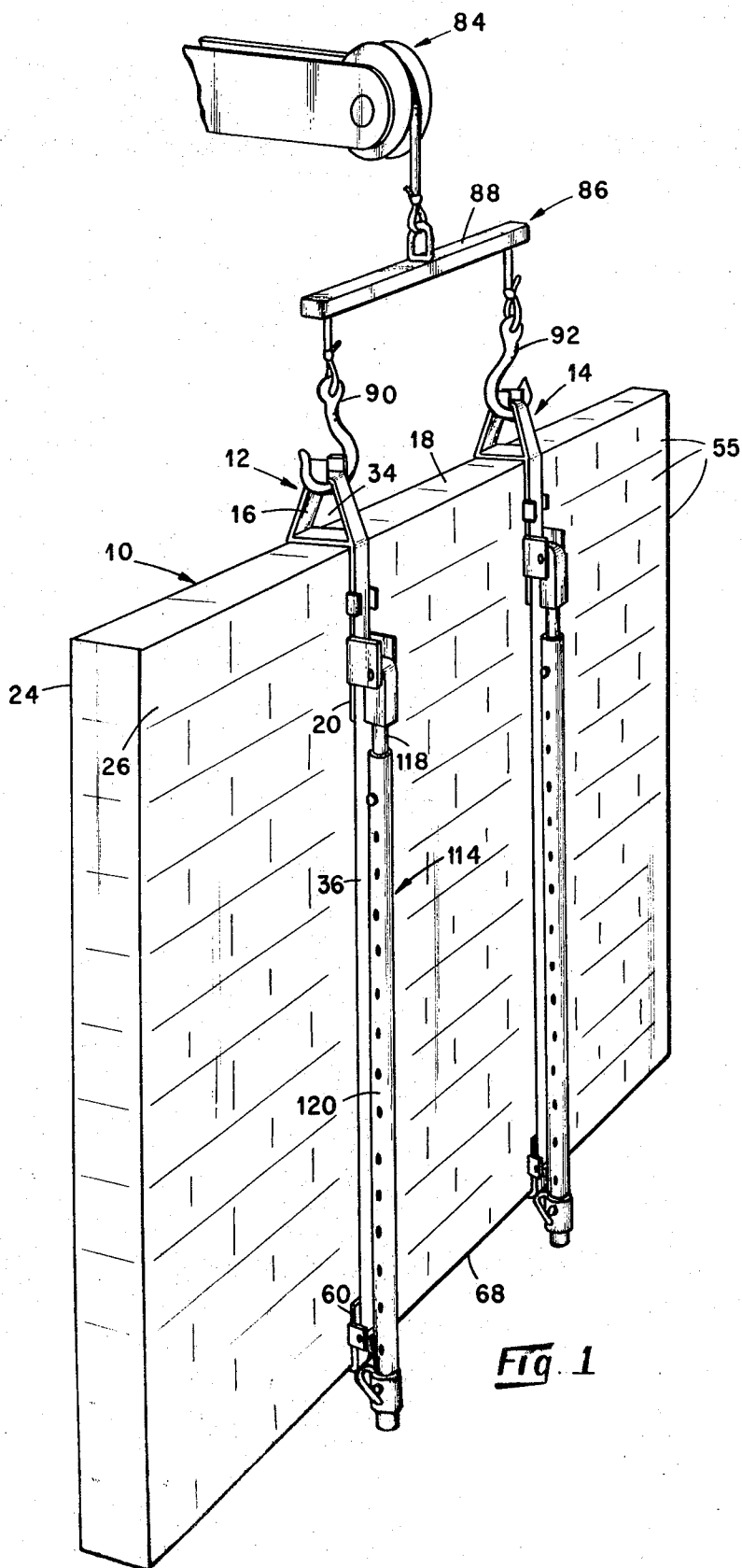


Fig. 1

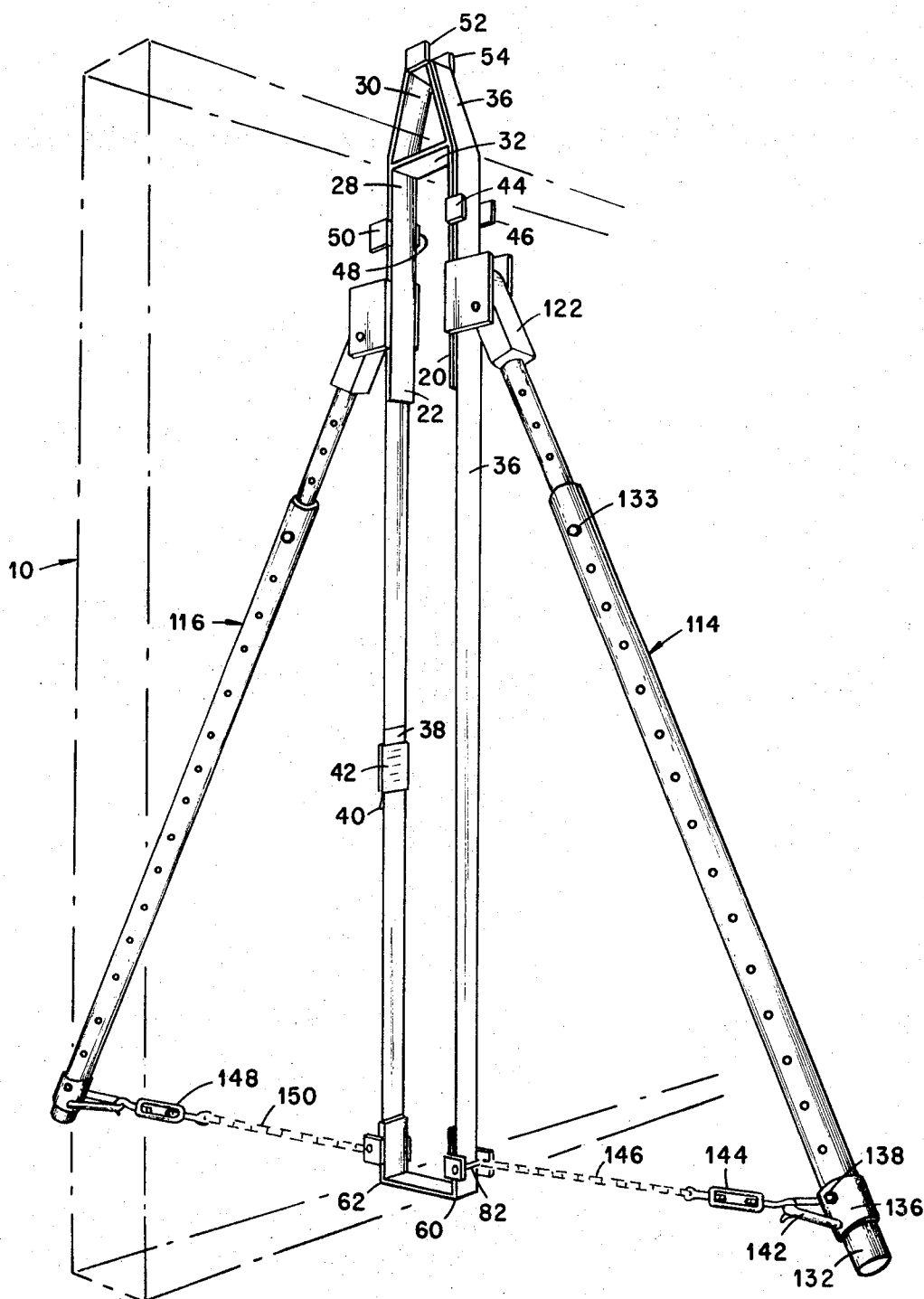


Fig. 3

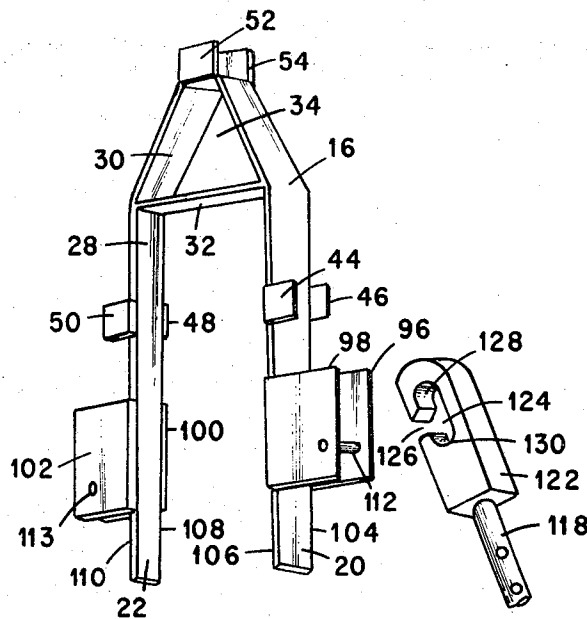


Fig. 4

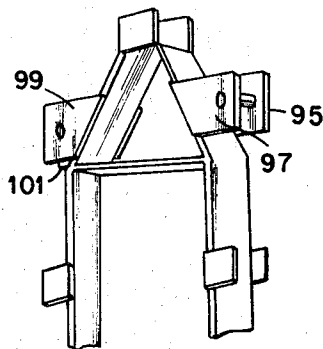


Fig. 4A

SYSTEM FOR LIFTING AND HANDLING PANELS

This invention relates to systems for lifting and handling slabs or panels, particularly prefabricated masonry slabs or panels.

It is becoming increasingly common in the construction industry to prefabricate a wall or floor section of a building at a location distant from the construction site and thereafter transport the prefabricated panel to the construction site where it is installed in the building. Certain of these prefabricated panels, particularly masonry panels, are of great weight so that they must be lifted and transferred with the assistance of a crane or other lifting device. Due to their great weight, special care is required to avoid damage to the panel during handling. Moreover, the relatively large expense represented by using a crane or the like for holding the panel while it is being installed can negate a substantial part of the savings available through prefabrication methods.

Masonry panels prefabricated by laying up bricks or masonry blocks in courses are particularly susceptible to damage during transfer from the prefabrication site to the construction site by handling means known heretofore.

It is an object of the present invention to provide a system for lifting heavy slabs or panels particularly masonry panels comprising laid up bricks or masonry block. It is also an object to provide apparatus adapted to releasably engage a panel and secure it for lifting and handling and adapted to adjustably secure the panel during its installation. It is a further object to provide a system for securing a panel for installation in an upright position, wherein the upright position of the panel is adjustable.

Other objects and advantages of the invention will become known by references to the following description and accompanying drawings, in which:

FIG. 1 is a perspective view of the disclosed system and showing various features of the invention;

FIG. 2 is an end view of a prefabricated masonry wall secured in an upright position by means of the present system;

FIG. 3 is a perspective view of apparatus for use in the disclosed system;

FIG. 4 is a fragmentary view of a portion of the apparatus shown in FIG. 3;

FIG. 4A is an alternative embodiment of that portion of the apparatus shown in FIG. 4; and,

FIG. 5 is an enlarged perspective view of a further portion of the apparatus shown in FIG. 3.

Stated briefly, the present system comprises means for releasably securing a panel at one or more locations thereon for lifting and handling and means attachable to the first means for aligning the panel in a desired upright position during installation of the panel. More particularly, the present system includes apparatus adapted to encircle a panel and be engaged by lifting means and to be further engaged by means suitable for accomplishing upright alignment of the panel during installation thereof.

For purposes of disclosure, the present system is described in connection with the lifting and handling, including vertical alignment, of an upright masonry panel. The disclosed system is particularly useful in handling prefabricated panels of bricks or masonry blocks laid up in courses and bonded with mortar. It

will be evident that the present system and apparatus are useful in handling various panels in a variety of positions. With reference to the Figures, in the depicted system, a masonry panel 10 is encircled by two removable collars 12 and 14, one of the collars being located inwardly from each of the opposite ends of the panel by about one-third of the length of the panel. Each of the collars includes a bifurcated yoke 16 adapted to fit over the top edge 18 of the panel with the opposite legs 20 and 22 of the yoke lying along each of the opposite sides 24 and 26 of the panel. Preferably, the legs of each yoke are in contact with and bear against the sides of the panel so that the yoke is relatively tightly fitted over the panel and does not wobble about when positioned on the panel. It will be recognized that if the spacing between the legs 20 and 22 of a particular yoke may be greater than the thickness of the panel disposed therebetween, the yoke may be rigidified with respect to the panel by the use of shims between the legs and the sides of the panel. As best seen in FIG. 3, this yoke comprises a unitary elongated member 28 bent into a generally "U" shape to define oppositely disposed legs 20 and 22 and a base 30. A cross member 32 is interposed between the legs 20 and 22 at the points where the legs commence curving to form the base of the yoke. As shown in the Figures, this cross member serves to limit the extent to which the yoke fits over the top edge of the panel due to the cross member 32 contacting the top edge 18 of the panel as the legs of the yoke are fitted over the panel and along the opposite sides of the panel. In this manner, the base 30 of the yoke upstands from the top edge of the panel to define a loop 34 through which a lifting device can be fitted.

The yoke 16 is held in position on the panel by means of a band 36, preferably metal, which encircles the panel and yoke and is joined at its opposite ends 38 and 40 by a crimped sleeve 42 or the like. To maintain the band on the yoke 16, each of the side legs of the yoke is provided with a pair of guide members 48 and 50, and 44 and 46, which serve to receive the band 36 therebetween and maintain it in overlying alignment with the legs. The base 30 of the yoke 16 is also provided with a similar pair of guide members 44 and 46 which position and maintain the band in overlying alignment with the base of the yoke. When tightened snugly about the panel, the band 36 holds the yoke fixedly secured to the panel. Each of the legs 20 and 22 of the yoke depend downwardly from the top edge of the panel by a distance sufficient to cause the legs to bear against more than one, and preferably at least three, courses 55 of masonry blocks so that a lift force applied to the collar assembly results in a substantially vertical pull upon the panel thereby reducing the likelihood of damage to the panel due to an uneven or non-vertical pull thereagainst.

At the locations where the band passes around the bottom corner edges and of the panel, there are provided corner brackets 60 and 62 (see FIGS. 2 and 3) disposed between the band and the bottom corner edges 56 and 58 of the panel to aid in preventing breakage of the panel in these locations by reason of pressure applied thereagainst by the band during lifting operations. With reference to FIG. 5, each of the corner brackets 60, for example, comprises an elongated member formed into a generally "L" shape to define a first leg 64 adapted to engage the bottom surface 68 of the panel (FIG. 2) and a second leg 66 adapted to en-

gage and lie along the side 26 of the panel as best seen in FIG. 2. This second leg 66 of the corner bracket 60 is provided with a pair of lugs 70 and 72 attached at one of their respective ends 74 and 76 to the opposite side edges 78 and 80 of the leg 66 of the corner bracket and project perpendicularly from the bracket, hence perpendicularly from the side of the panel. A cross member 82 is provided between the projecting lugs 70 and 72 to define a point of attachment for an adjustable connection between the panel and other elements as will be referred to hereinafter.

In accordance with the present system, the panel is prefabricated at a location distant from the construction site and after completion, it is fitted with one or more collar assemblies as referred to above. The panel may be thereafter lifted as by a crane 84 or the like and placed on a vehicle (not shown) for transport to the construction site. One suitable lifting apparatus comprises a sling 86 including a rigid bar 88 having hooks 90 and 92 connected to its opposite ends, the hooks being adapted to engage the loop 34 of each yoke 16. Once the panel arrives at the construction site, it is lifted by the crane from the transport vehicle and placed in position in the building. Employing the crane, the bottom edge 68 of the wall is lowered into the desired location on a floor 94 of the building or on another foundation which may carry a bed of mortar 95 as depicted in FIG. 2. By reason of the weight of the panel, the bottom end remains in the selected location.

As shown in FIGS. 2, 3 and 4, the yoke 16 of the apparatus employed in the present system includes two sets of plates 96 and 98, and 100 and 102 secured to and extending outwardly from the side edges 104 and 106, and 108 and 110, of the respective legs 20 and 22 of the yoke. Bolt means 112 and 113 extend between the respective plates 96 and 98 and 100 and 102 to define a cross member between each set of plates.

The depicted apparatus further includes a pair of extensible legs 114 and 116, one leg being disposed on each side of the panel, each leg comprising two telescoping sections 118 and 120. The upper section 118 of the leg 114 is provided with a generally C-shaped hook 122 defining an opening 124 suitable for receiving the cross member 112 when the hook is positioned between the two plates 96 and 98. In the disclosed hook, the opening 124 therein includes an entrance 126 disposed intermediate the ends 128 and 130 of the opening so that the hook may be releasably attached between the plates 96 and 98 by passing the cross member 112 through the entrance 126 to the opening 124 and thereafter moving the leg 114 up or down to secure the hook against inadvertent withdrawal from its position of engagement with the cross member. By this means, each of the legs 114 and 116 is pivotally connected to its respective side of the yoke 16. In the depicted apparatus, the legs 114 and 116 are shown in their upper positions so that the respective cross members 112 and 113 are disposed in the lower portions of the respective openings in each hook. In an alternative embodiment depicted in FIG. 4A, the two sets of plates 95 and 97 and 99 and 101 which receive the legs 114 and 116 therebetween are secured to and extend outwardly from the base 30 rather than from the leg portions of the yoke. In this embodiment, the plates do not extend outwardly from the panel as far as do the plates 96, 98, 100 and 102 of FIG. 4 so that the panel may be positioned closer to another panel as where positioning

several panels on a truck for transporting them to a construction site.

As depicted in FIGS. 2 and 3, once the bottom edge of the panel is in position on the floor 94 with the hook of each leg engaging the yoke, the lower ends 132 and 134 of the telescoping legs are moved outwardly from the panel sufficiently to cause the lower end of each leg to engage the floor 94 at a location spaced laterally from the panel by a short distance, such as about six feet. The top and bottom sections 118 and 120, respectively of the leg 114 are each provided with openings 129 and 131, respectively, which when aligned define passageways through the leg 114. Bolt means 133 is inserted into such aligned openings to maintain the leg in the desired extended or withdrawn position. In this manner, each leg depends from the yoke 16 at an acute angle with respect to the upright panel. The lower end of each leg is provided with a sleeve 136 slidably disposed on the outer surface of the bottom section 120 of the leg and including a set of aligned openings therein through which bolt means 138 is inserted to lock the sleeve in position on the leg. The openings 131 extending through the bottom section 120 of the leg 114 permit the sleeve to be locked in a selected position along the length of the leg. This sleeve is further provided with a ring 142 to which there is secured one end of a turnbuckle 144. The opposite end of the turnbuckle 144 is connected, as by means of a chain 146, to the cross member 82 which extends between the two lugs 70 and 72 of the corner bracket 60. A similar turnbuckle 148 and chain 150 assembly is provided to connect the lower end of the opposite leg 116 to the corner bracket 62 that is held on the bottom edge of the panel by the band 36 as referred to above. With a chain and turnbuckle assembly connected between a leg and its corner bracket, the outward movement of the leg is limited by the length of the chain and turnbuckle assembly. When the panel is disposed on the floor in an approximately upright position and the lower ends of the legs are in contact with the floor and held against outward movement by their respective chain and turnbuckle assemblies and the hooks of the legs are engaged with their respective cross member on the yoke, the respective cross members reside in the bottom ends of the opening defined by the respective hooks on the top ends of the legs. Further, the legs exert opposing forces against the top end of the panel so that it is retained firmly in its upright position. Thereafter, the crane is disengaged and thereby freed to be utilized with other panels or in another profitable manner. It will be recognized that when the panel is so positioned with the legs extended on opposite sides of the panel, any upward movement of the leg 114, for example, will exert a push against the top end of the panel, the direction of such push being such as will tend to move the top edge of the panel away from the leg that is exerting the push. In accordance with the disclosed system, tightening of the turnbuckle 144 reduces the length of the turnbuckle and chain assembly and causes the lower end 132 of the leg 114 to be drawn toward the bottom edge 68 of the panel, simultaneously reducing the angle at which the leg depends from the top edge of the panel. Because the lengths of the panel and leg are fixed, the resultant action on the panel due to tightening of the turnbuckle is to cause the top edge of the panel to move laterally with respect to the bottom edge of the panel. With reference to FIG. 2, tightening of the

turnbuckle 144 will cause the top edge of the panel to move to the left. It is noted that in order for the desired movement of the top edge of the panel to take place, there must be a corresponding loosening of the turnbuckle 148 of the leg 116 on the opposite side of the panel so that the angular relationship between the panel and the leg 116 on this opposite side of the panel is increased to accommodate the desired panel movement. Accordingly, in aligning the top edge of a panel, any tightening of a turnbuckle is accompanied by corresponding loosening of the turnbuckle on the opposite side of the panel, and vice versa. Through repeated manipulation of the turnbuckles, the top edge of the panel is incrementally adjusted to the extent required to vertically align the top edge of the panel with respect to the bottom edge. Once the panel is adjusted to the desired vertical position, it is maintained stationery by the depicted apparatus for permanent installation.

Upon completion of the installation of the panel, the respective chain and turnbuckle assemblies are disconnected from each of the legs and the hook of each leg is disengaged from its respective cross member on the yoke 16. Thereupon, the metal band 36 is severed and withdrawn from its encircling position about the panel.

For handling masonry panels, the band 36 is of a thickness less than the thickness of the usual masonry mortar joint employed (between about $\frac{3}{8}$ and $\frac{1}{2}$ inch) so that when the panel has been installed using a mortar joint between the bottom of the panel and a supporting surface, the severed band may be readily withdrawn from between the bottom of the panel and its supporting surface, i.e. a floor. A preferred band comprises a flat metal strap about two inches wide and about 1/16 inch thick. Such bands are sufficiently strong to bear great weights and when withdrawn they leave a relatively small opening in a mortar joint that can easily be filled with additional mortar. Such bands are relatively inexpensive hence may be discarded after a single use. Other suitable means, such as one or more cables, will be recognized by one skilled in the art as suitable substitutes for the depicted band. If desired, metal shims may be provided between the panel and floor to hold the panel spaced above the floor (or a subjacent panel) until the mortar has solidified sufficiently to support the panel. These shims may be removed or left in position to become a permanent part of the structure.

With the band removed, the yoke 16 and the corner brackets 60 and 62 are readily removed from their position against the panel. The several elements of the apparatus are collected and returned to the point where the panels are prefabricated by reuse with subsequent panels.

While a preferred embodiment has been shown and described, it will be understood that there is no intent to limit the invention by such disclosure, but rather, it is intended to cover all modifications and alternate constructions falling within the spirit and scope of the invention as defined in the appended claims.

What is claimed is:

1. Apparatus for handling a panel in an upright position and aligning said panel vertically when said panel is resting on a supporting surface including

collar means encircling said panel at a location between opposite ends thereof, said collar means including bifurcated yoke means disposed on the top edge of said panel and having leg portions thereof lying along opposite sides of said panel, bracket

means disposed on the bottom edge of said panel, and band means encircling said panel and releasably securing said yoke and bracket means to said panel, whereby said yoke and bracket means are rigidified with respect to said panel, and

a pair of leg means pivotally connected to said yoke on opposite side surfaces of said panel and extending downwardly therefrom at an angle with respect to said panel to bear against said supporting surface at respective locations spaced from said panel, adjustable means connecting said bottom edge of said panel to each of said pair of leg means whereby the angular position of each of said leg means with respect to said panel is adjustable to change the angular relationship between the panel and each leg and cause the top edge of said panel to move relative to said bottom edge of said panel for vertically aligning said panel.

2. The apparatus of claim 1 wherein said band comprises a flat metal strap having a thickness less than about $\frac{3}{8}$ inch.

3. The apparatus of claim 1 wherein said yoke includes a cross member disposed between the legs thereof, said cross member contacting the top edge of said panel when said yoke is disposed on said panel to maintain a portion of said yoke above said top edge of said panel.

4. The apparatus of claim 1 wherein each of said pair of leg means is extensible.

5. The apparatus of claim 1 wherein said adjustable means comprises a turnbuckle and chain assembly.

6. In a system for handling a masonry panel in an upright position wherein said masonry panel comprises a plurality of courses of laid up masonry units, the combination comprising

lifting means,

a supporting surface for said panel,

collar means encircling said panel at a location between its opposite ends, said collar means comprising bifurcated means disposed on the top edge of said panel and having leg portions thereof lying along opposite sides of said panel, bracket means disposed on the bottom edge of said panel, and band means encircling said panel and releasably securing said yoke and bracket means to said panel, whereby said yoke and bracket means are rigidified with said panel, and

means releasably connecting said lifting means and said collar means whereby a lifting force exerted by said lifting means is transferred through said collar means to said panel to lift said panel,

a pair of leg means pivotably connected to said collar means at locations on said collar means adjacent the top edge of said panel and on opposite sides of said panel, said pair of leg means depending from said collar means at an acute angle with respect to said panel, the lower ends of said legs bearing against said supporting surface at respective locations on opposite sides of said panel and spaced from said panel whereby said panel is stabilized in an upright position, and

adjustable means connecting the bottom edge of the panel to each of the leg means whereby the distance between each leg and the bottom of the panel is adjustable to change the angular relationship between the panel and each leg and thereby exert a moving force against the top edge of the panel and align such top edge with the bottom edge of the panel.

* * * * *